

**EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN AL ARRANCADOR
SUAVE SMC FLEX, UBICADO EN EL MOLINO CFS DE LA EMPRESA
ALIMENTOS CÁRNICOS SEDE BARRANQUILLA.**

WILLIS ANDRES RIVERA PEREZ

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC.
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
BARRANQUILLA,
2015

**EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN AL ARRANCADOR
SUAVE SMC FLEX, UBICADO EN EL MOLINO CFS DE LA EMPRESA
ALIMENTOS CÁRNICOS SEDE BARRANQUILLA.**

WILLIS ANDRES RIVERA PEREZ

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electricista

Director académico:
HERNAN HERNANDEZ HERRERA
Ingeniero Mecánico Ph.D.

Codirector académico:
JORGE SILVA ORTEGA
Ingeniero Electricista Ms.C.

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC.
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
BARRANQUILLA,
2015

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla 26 de marzo de 2015



UNIVERSIDAD
DE LA COSTA
1970

Personería Jurídica N° 352 Abril 1971 • Barranquilla - Colombia

Barranquilla 26 de Marzo de 2015

Señores: Corporación Universidad de la Costa (CUC)

Atención: Departamento Admisiones y registros y Biblioteca.

Asunto: Recepción de proyecto de grado

El día 26 de Marzo de 2015, el estudiante Willis Andrés Rivera Pérez identificado con C.C. 1'129.582.824 de Barranquilla hizo entrega de los documentos y monografía de proyecto de grado junto con los anexos respectivos al programa de ingeniería eléctrica. A continuación se relaciona la información del proyecto de grado.

Título del proyecto: Evaluación de los factores que afectan al arrancador suave SMC FLEX, ubicado en el molino CFS de la empresa Alimentos Cárnicos sede Barranquilla.

Decisión del jurado evaluador: Aprobado & Meritorio

Calificación: 4.9

Tutor: Ing. Hernán Hernández Herrera Ph.D.

Cotutor: Ing. Jorge Iván Silva Ortega Ms.C.

Jurados: Ing. Adalberto Ospino Castro Ms.C.
Ing. Milen Balbis Morejón Ms.C.

Se destaca la participación del estudiante en el apoyo a la obtención de resultados en consultoría desarrollada por el grupo de investigación GIOPEN.

Atentamente,

Ing. Jorge Iván Silva Ortega Ms.C.
Líder de investigación grupo GIOPEN
Programa de ingeniería eléctrica
Docente Tiempo completo

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta obra la cual requirió de mucho esfuerzo a Dios por permitir mi existencia e influir en mis decisiones, a través de sus formas maravillosas de manifestar su grandeza.

A mi madre Inírida Pérez por su amor, sustento y apoyo.

Y a mi esposa Yennifer Berrio por todos los sacrificios junto a mí para alcanzar esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a las siguientes personas quienes me apoyaron e hicieron que este proyecto se realizara, Alexander Barrios, Marcos Acosta y los docentes del programa de ingeniería eléctrica de la universidad de la costa, Hernán Hernández y Jorge Silva.

RESUMEN

En este trabajo se presenta una metodología y el uso de esta, para identificar las causas que provocan las fallas en el arrancador suave SMC FLEX; equipo que controla el funcionamiento del motor eléctrico en el molino CFS ubicado en la empresa Alimentos Cárnicos sede Barranquilla.

El documento inicia realizando una descripción de la estructura de la empresa, de su historia, de sus áreas y proceso productivo. Al igual de las características principales de funcionalidad estipuladas por los fabricantes, de las condiciones de operación y de las actividades de mantenimiento realizadas tanto al molino CFS como al arrancador suave SMC FLEX.

Luego se identifican los posibles factores causantes de las fallas, se analizan sus comportamientos, se comparan con valores de referencia a través de ilustraciones, tablas e información de estadística descriptiva para determinar las desviaciones y anomalías.

Finalmente se concluyen cuáles son las causas que ocasionan las fallas en el arrancador suave, se brindan las soluciones pertinentes al personal de mantenimiento de la empresa para eliminar o reducir al mínimo la aparición de estas y se realizan otras recomendaciones o sugerencias para que se evalúen sus beneficios en el mejoramiento de la funcionalidad del molino CFS y los costos asociados a su mantenimiento.

Palabras claves: arrancador suave, fallas, causas, condiciones de operación, soluciones y costos.

ABSTRAC

In this paper a methodology and use of this is presented to identify the causes of failures in the SMC Flex soft starter; equipment that controls the operation of the electric motor in the CFS mill located at the company headquarters Food Meat Barranquilla.

The paper starts by performing a description of the structure of the company, its history, its areas and production process. As the main features of functionality stipulated by the manufacturers, operating conditions and maintenance activities performed both mill CFS as the soft starter SMC FLEX.

Possible factors causing failures are then identified, their behavior is analyzed, compared with reference values through illustrations, tables and descriptive statistical information to determine deviations and abnormalities.

Finally conclude the causes that cause failures in the soft starter, relevant solutions to maintenance personnel of the company to eliminate or minimize the occurrence of these are offered and other recommendations or suggestions are made to make you evaluate your benefits in improving the functionality of the mill CFS and costs associated with its maintenance.

Keywords: soft starter, faults, causes, operating conditions, solutions and costs.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
CONTENIDO DE GRAFICOS	8
CONTENIDO DE TABLAS	10
CONTENIDO DE ECUACIONES	11
GLOSARIO	12
INTRODUCCIÓN	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
JUSTIFICACIÓN	17
OBJETIVOS	18
OBJETIVO GENERAL.	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	18
CAPÍTULO I MARCO TEORICO.	19
1.1. Generalidades de la empresa Alimentos Cárnicos sede Barranquilla, (CUNIT).	19
1.1.1. Reseña histórica.	19
1.1.2. Estructura de la empresa.	20
1.1.3. Áreas de producción.	21
1.2. Descripción del proceso de molienda de la materia prima cárnica.	26
1.2.1. Descargue y almacenaje de la materia prima cárnica.	26
1.2.2. Proceso de pre-alistamiento.	27
1.2.3. Proceso de alistamiento final.	28
1.2.4. Proceso de dosificación y molienda.	29
1.2.5. Proceso de higiene del área.	31
1.3. Generalidades del molino Maxigrind CFS.	31
1.3.1. Descripción general del equipo.	31
1.3.2. Dimensiones del equipo.	32
1.3.3. Descripción de los sistemas que conforman al equipo.	33
1.3.4. Actividades de mantenimiento realizadas al molino CFS.	43
1.3.5. Fallas en el funcionamiento del molino CFS.	50

1.4. Generalidades de los arrancadores suaves. _____	51
1.4.1. Soluciones para la puesta en marcha de un motor eléctrico asíncrono. _____	52
1.4.2. Principio de funcionamiento del arrancador suave. _____	57
1.4.3. Arrancador suave SMC FLEX Allen Bradley usado en el molino CFS. _____	59
CAPÍTULO II METODOLOGÍA. _____	70
2.1. Análisis de la calidad en la energía eléctrica. _____	70
2.1.1. Instalación del equipo y registro de las mediciones. _____	70
2.1.2. Directrices generales respecto a continuidad y calidad de la energía en Colombia. _____	71
2.1.3. Valores de referencia adoptados para el estudio eléctrico. _____	72
2.2. Análisis de la producción de la planta. _____	74
2.2.1. Tiempo de operación y número de arranques del equipo. _____	75
2.2.2. Dosificación de la materia prima cárnica a la tolva del molino. _____	75
2.3. Análisis de la temperatura en el ambiente de operación. _____	75
CAPÍTULO III ANALISIS DE RESULTADOS. _____	76
3.1. Análisis de resultados para calidad de la energía eléctrica. _____	76
3.1.1. Perfiles de tensión. _____	76
3.1.2. Perfiles de corrientes. _____	78
3.1.3. Desbalance en tensión y corrientes. _____	79
3.1.4. Perfiles de potencias. _____	80
3.1.5. Frecuencia. _____	82
3.1.6. Factor de potencia. _____	83
3.2. Análisis de resultados para la producción de la planta. _____	84
3.2.1. Tiempo de operación y número de arranques del equipo. _____	84
3.2.2. Dosificación de la materia prima cárnica a la tolva del molino. _____	85
3.3. Análisis de resultados para la temperatura en el ambiente de operación. _____	85
3.4. Evaluación de los resultados. _____	86
3.4.1. Tensión de servicio. _____	86
3.4.2. Corrientes y potencias. _____	87

3.4.3. Desbalances en tensión y corriente.	87
3.4.4. Frecuencia.	87
3.4.5. Factor de potencia.	87
3.4.6. Tiempo de operación y número de arranques del equipo.	87
3.4.7. Temperatura e operación.	88
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	89
4.1. Conclusiones.	89
4.2. Recomendaciones.	90
BIBLIOGRAFÍA	92

CONTENIDO DE GRAFICOS

Figura 1 Organigrama de la empresa.	21
Figura 2. Distribución de los equipos en el área de pastas y Mezclas.	23
Figura 3. Camiones utilizados para el transporte de la materia prima.	27
Figura 4. Cavas de congelación o conservación.	27
Figura 5. Báscula para el pesaje de la MPC.	28
Figura 6. Pelaje de la MPC.	28
Figura 7. Registro de la temperatura de la MPC. a) Perforación de la MPC. b) Instalación de termómetro y registro de la temperatura.	29
Figura 8. Equipos controlados por el operador principal.	30
Figura 9. Dosificación y molienda de la MPC.	31
Figura 10. Dimensiones Molino CFS.	33
Figura 11. Sensores de seguridad del molino CFS.	34
Figura 12 Breaker de protección alimentación Molino CFS.	35
Figura 13. Identificación de los componentes dentro del tablero eléctrico.	36
Figura 14. Seccionador (+JB02).	37
Figura 15. Dimensiones y distribución interna de los elementos en el tablero eléctrico del Molino CFS.	38
Figura 16. Estaciones de mando del Molino CFS.	39
Figura 17. Descripción de los elementos que conforman el sistema de alimentación y corte	39
Figura 18. Tornillo sin fin.	40
Figura 19. Operadores contratistas durante el armado del equipo	40
Figura 20. Operadores contratistas durante el armado del equipo	41
Figura 21. Elementos principales del sistema de transmisión.	42
Figura 22. Ventiladores del arrancador suave.	44
Figura 23. Contactos de potencia de los contactores +KM1 y 2.	45
Figura 24. Medidas mínimas para la pista interna y externa del cojinete de guía.	46
Figura 25. Cambio de repuestos trimestrales.	47
Figura 26. Medidas de desgaste máximo en puntos críticos del tornillo sin fin.	48
Figura 27. Medidas máximas para el diámetro del forro o cámara de corte.	48
Figura 28. Disco de corte y cuchillas antes de ser afilados.	49
Figura 29. Componentes principales de la afiladora.	50
Figura 30. Disco de corte y precortador después de haberse afilado.	50
Figura 31. Control de la tensión por ángulo de fase y contacto de bypass.	54
Figura 32. Curva de tensión en un arranque suave.	54
Figura 33. Curva de corriente en un arranque limitación de intensidad.	55
Figura 34. Variantes en la configuración de potencia de los arrancadores suaves.	55
Figura 35. Encapsulados según la JEDEC.	59

Figura 36. Modularidad del arrancador suave SMC FLEX. _____	59
Figura 37. Vista interna de un módulo de potencia. _____	62
Figura 38. Módulo de control. _____	62
Figura 39. Ventiladores. _____	63
Figura 40. Ubicación y descripción de los terminales de cableado. _____	63
Figura 41. Conexión en línea. _____	64
Figura 42. Conexión en triángulo o delta. _____	65
Figura 43. Diferencia entre la conexión en línea y la conexión en triángulo. _____	65
Figura 44. Descomposición en letras del código de catálogo. _____	66
Figura 45. Significado de la letra “a”. _____	66
Figura 46. Significado de la letra “b”. _____	67
Figura 47. Significado de la letra “c”. _____	67
Figura 48. Significado de la letra “d”. _____	68
Figura 49. Significado de la letra “e”. _____	68
Figura 50. Significado de la letra “f”. _____	68
Figura 51. Significado de la letra “g”. _____	69
Figura 52. Temperatura de operación del arrancador suave. _____	69
Figura 53. Instalación del equipo de medición. _____	71
Figura 54. Instrumento de medición de temperatura. a) Bulbo (PT-100). b) Display visualizador. _____	75
Figura 55. Perfil de tensión registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS. _____	76
Figura 56. Histograma de los datos registrados para las tensiones de línea. _____	77
Figura 57. Perfiles de corrientes registrados durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS. _____	78
Figura 58. Desbalance en tensión registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS. _____	79
Figura 59. Desbalance en corriente registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS. _____	80
Figura 60. a) Perfil de potencia activa. b) Perfil de potencia reactiva. c) Potencia activa Vs reactiva. Registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS. _____	81
Figura 61. Comportamiento de la frecuencia registrada durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS. _____	82
Figura 62. Factor de potencia registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS. _____	83
Figura 63. Datos registrados de la operación del equipo de Enero 2009 a diciembre 2013. a) Tiempo de operación. b) Numero de arranques. _____	84
Figura 64. Registro de temperatura del 10 de Marzo al 04 de Abril 2014. _____	86

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Listado de equipos que conforman el área de pastas y mezclas. _	22
Tabla 2. Listado de equipos que conforman el área de embutidos de salchichones. _____	24
Tabla 3. Listado de equipos que conforman el área de embutidos de chorizos. _____	24
Tabla 4. Listado de equipos que conforman el área de embutido de salchichas. _____	25
Tabla 5. Listado de equipos que conforman el área de cocción. _____	25
Tabla 6. Listado de equipos que conforman el área de enfriamiento. _____	25
Tabla 7. Listado de equipos que conforman el área de separado. _____	26
Tabla 8. Listado de equipos que conforman el área de empacado. _____	26
Tabla 9. Datos de referencia rápida Molino CFS. _____	32
Tabla 10. Descripción de las dimensiones del Molino CFS en milímetros. _	32
Tabla 11. Costo unitario de parte de los componentes del sistema de seguridad y eléctrico. _____	37
Tabla 12. Datos placa de características motor eléctrico. _____	42
Tabla 13. Datos placa de características caja reductora de velocidad. _____	43
Tabla 14. Dimensiones de las poleas y relación de velocidad. _____	43
Tabla 15. Indicadores estadísticos tensiones de línea. _____	77
Tabla 16. Indicadores estadísticos de los datos registrados para las corrientes de línea. _____	78
Tabla 17. Indicadores estadísticos desbalances en tensión. _____	79
Tabla 18. Indicadores estadísticos desbalances en corriente. _____	80
Tabla 19. Indicadores estadísticos de los datos registrados para las potencias. _____	82
Tabla 20. Indicadores estadísticos de los datos registrados para la frecuencia. _____	83
Tabla 21. Indicadores estadísticos de los datos registrados para el factor de potencia. _____	83
Tabla 22. Resumen tiempo de operación años 2009-2013. _____	85

CONTENIDO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de la variación de tensión. _____	72
Ecuación 2. Calculo de factor de potencia inductivo. _____	73
Ecuación 3. Cálculo del porcentaje de desbalance de tensión. _____	74

GLOSARIO

Área: zona de la planta que tiene una característica común (centro de coste, similitud de equipos, línea de producto, función).

Combinado: hace referencia a un controlador de estado sólido al cual el fabricante Allen Bradley lo suministra con un desconectador con fusibles o con un disyuntor.

Componente: partes en que puede subdividirse un elemento: Ej.: el rodamiento de un motor, junta rascadora de un cilindro neumático.

Elemento: cada una de las partes que integran un sistema. Ej.: el motor de la bomba de lubricación de un compresor. Es importante diferenciar elemento y equipo. Un equipo puede estar conectado o dar servicio a más de un equipo. Un elemento, en cambio, solo puede pertenecer a un equipo.

Envolvente: también denominado cofre eléctrico, es una caja metálica o plástica de dimensiones variables a las necesidades del tablero eléctricos, cuya función es proteger a sus componentes del agua, partículas sólidas y golpes mecánicos. Su nivel de protección contra estos agentes se mide por la norma NEMA o el grado IPXX.

Equipo: cada uno de las unidades productivas que componen el área, que constituyen un conjunto único.

IT+L (Inspección técnica más lubricación): Actividades de mantenimiento generalmente con una frecuencia semanal donde los técnicos inspeccionan y lubrican los equipos.

MPC (Materia prima cárnica): ingredientes que conforman la receta de los productos procesados en la planta; estos ingredientes están relacionados con los diferentes tipos carnes utilizados en estas.

MPNC (Materia prima no cárnica): ingredientes que conforman la receta de los productos procesados en la planta; estos ingredientes están relacionados con los diferentes tipos de harinas, condimentos, sales, aromas, conservantes, entre otros.

Pelaje: retiro de las envolturas plásticas o de cartón de la MPC para desnudarlo completamente.

Planta: centro de trabajo.

Referencia: producto final del proceso productivo, son los salchichones, salchichas, butifarras y chorizos.

SIP (Sistema de información planta): es el área encargada manejar toda la información del proceso productivo, es decir, las diferentes áreas de producción generan una cantidad de información representadas en planillas que documentan los operadores de los diferentes equipos (hora de inicio de producción, hora fin, lote de los insumos utilizados, temperaturas, tiempo de averías, etc.) y con base a ella determinan los indicadores de productividad, eficiencia de la planta, entre otros, sobre los cuales los diferentes jefes basan sus decisiones.

Sistema: conjunto de elementos que tienen una función común dentro de un equipo.

Tanda: una tanda de “x” referencia se refiere a los máximos kilogramos que se mezclan tanto de MPC y como MPNC que en su conjunto conforman la receta para ese producto específico.

TPM (Mantenimiento total productivo): es una metodología de trabajo que se tiene implementado en el área de producción y consiste básicamente en empoderar a los operadores de sus equipos y entorno de trabajo, con el objetivo que se minimicen al máximo las pérdidas por averías, defectos de calidad y accidentes.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de producción en las industrias se han beneficiado de los motores eléctricos (en su mayoría de inducción) para la elaboración de sus productos. Sin embargo, estas máquinas siempre han tenido un problema con los arranques bruscos, ya que estos repercuten en diferentes factores y de diversas formas, como por ejemplo: elevaciones de presión en tuberías, daño de artículos por transporte rudo, aspecto operativo; grandes esfuerzos mecánicos desde el motor hasta el equipo accionado; y problemas eléctricos debidos a las tensiones y corrientes transitorias producidas en los arrancadores en línea directos o estrella/triángulo [1].

Estos inconvenientes han sido motivo de estudio y se han planteado diversas soluciones durante el transcurso de su historia, pasando desde los arranques directos, arrancadores estrella/triángulo, hasta los arrancadores suaves y los variadores de frecuencia. No obstante, cada solución ha traído problemas intrínsecos de la misma, haciendo necesaria la evaluación costo/beneficio de cada una ellas [1].

La empresa Alimentos Cárnicos S.A.S, ubicada en la ciudad de Barranquilla, Atlántico, ha tenido un crecimiento importante a lo largo de los años; en consecuencia, ha adquirido nuevos equipos para su proceso de producción, algunos con motores eléctricos de tamaño considerable, como el caso del molino triturador de carne o molino CFS ubicado en la zona de pasta y mezclas. Este fue instalado en el año 2006 y no presentó inconveniente alguno hasta el 2009, cuando por primera vez el arrancador suave de marca Allen Bradley que acciona su motor eléctrico presentó fallas de operación hasta el punto de hacerse necesario su reemplazo, en los años 2012 y 2014 nuevamente presenta fallas.

Las consecuencias económicas por la falla de este equipo son considerables, debido a que cada problema técnico o avería tiene un coste en forma de reparaciones y pérdida de producción considerable lo cual es un factor predominante a evitar por la industria.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa de Alimentos Cárnicos con su misión de entregar siempre a sus clientes un producto con excelencia, ha venido certificándose para estar a la vanguardia en diferentes disciplinas de las cuales se pueden destacar: normas de calidad, de seguridad industrial, higiene y TPM. También es importante para la compañía lograr un crecimiento cada día más amigable con el medio ambiente y por ello ha comenzado a implementar medidas de ahorro y control de energéticos, además de la implementación de nuevas tecnologías en sus procesos.

Alimentos Cárnicos ha ido creciendo y con ello han llegado nuevos equipos que consumen mayor energía y operan un número mayor de horas para lograr el aumento de la producción, inicialmente la mayoría de estos equipos eran conectados a un voltaje de 220VAC y este era suministrado por el transformador principal de la planta de 13200/220 VAC, pero con la llegada de un nuevo emulsificador de pasta en el 2005 y un molino de carne en el 2006 a la zona de pastas y mezclas (zona que es la encargada de la molienda, mezclado y emulsificado de las diferentes pastas para los productos de embutido) hubo la necesidad de conectarlos a 440VAC por la potencia de sus motores eléctricos, para ello se utilizó un transformador seco de 220/440 VAC.

En el mes de septiembre del año 2009, la empresa tuvo un grave imprevisto cuando el arrancador suave de marca Allen Bradley que acciona al motor eléctrico del molino de carnes se dañó, y trajo como consecuencias: retrasos y pérdidas en la producción.

Como medidas para que no se repita este hecho, se realiza un estudio eléctrico a través de una firma contratista y encuentran que el transformador de 220/440 VAC utilizado para alimentar a estos equipos se sobrecargaba durante los arranques, el nivel de tensión para la alimentación de los equipos disminuía y los elementos semiconductores de potencia del arrancador suave se esforzaban ocasionando su deterioro. Con estos resultados se decide instalar un nuevo transformador de 13200/440 VAC con los siguientes objetivos: independizar la fuente de alimentación del molino CFS y el emulsificador cozzini, organizar otros equipos conectados a 440 VAC y mantener un factor para futuro crecimiento de la compañía.

En los años 2012 y 2014 nuevamente se daña el arrancador suave pero las consecuencias en la producción fueron de menos gravedad al contarse con un equipo de stand by.

De acuerdo a lo anterior es necesario plantearse el siguiente interrogante:

¿Qué factores están afectando al arrancador suave que acciona al motor eléctrico del molino CFS en la empresa Alimentos Cárnicos?

JUSTIFICACIÓN

La idea del mantenimiento está cambiando. Los cambios son debidos a mayor complejidad de la maquinaria, nuevas técnicas de mantenimiento y un nuevo enfoque de la organización y de las responsabilidades del mismo. El mantenimiento está reaccionando ante nuevas expectativas; estas incluyen una mayor importancia a los aspectos de seguridad, medio ambiente, un conocimiento creciente de la conexión existente entre el mantenimiento y la calidad del producto, además de un aumento de la presión ejercida para conseguir una alta disponibilidad de la maquinaria al mismo tiempo que se optimizan.

Bajo estas premisas con el desarrollo de este proyecto se busca inicialmente identificarle al personal de mantenimiento de la empresa Alimentos Cárnicos las condiciones en la cual se encuentra operando el arrancador suave SMC FLEX, componente del sistema eléctrico de uno de los equipos vitales para el desarrollo de su proceso productivo, el molino CFS.

Luego realizar un análisis y comparación de esas condiciones con las recomendaciones de fábrica de su proveedor para determinar si este componente tiene las características propias para ejecutar las funciones que le exige y demanda la operación del molino.

Por último se les propone una alternativa para que basen sus mejoras y con ello aumentar la fiabilidad y disponibilidad del equipo; evitar los retrasos en el proceso productivo y sus pérdidas; minimizar los costos de mantenimiento por realizar una reparación, cambio de componentes o mantener en el stock de almacén repuestos asociados; simplificar la operación del molino incluso con un incremento en el número de arranques de requerirlo la evolución de la producción de la planta; permitirle una nueva característica de operación al molino con lo relacionado a incrementar o reducir la velocidad de operación sin la necesidad de realizar cambio de elementos mecánicos; reducir los picos en la corriente de arranque y energía reactiva junto con los desgastes que implican los arranques bruscos de motores eléctricos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

El objetivo del presente trabajo es determinar las causas que provocan las fallas en el arrancador suave del molino de CFS y brindar soluciones a las mismas; para darle cumplimiento a este objetivo se desarrollaran los siguientes objetivos específicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar una búsqueda bibliográfica sobre la utilización de los arrancadores suaves.
- Identificar el factor o los factores que pueden incidir en la falla temprana del arrancador suave del molino de carne.
- Brindar las soluciones pertinentes para eliminar o disminuir al mínimo la aparición de estos factores.

CAPÍTULO I MARCO TEORICO.

1.1. Generalidades de la empresa Alimentos Cárnicos sede Barranquilla, (CUNIT).

Alimentos Cárnicos, es una empresa dedicada al sector de los alimentos, con instalaciones de producción y distribución en varias regiones del país. La sede en la ciudad de Barranquilla se conoce tradicionalmente como Cunit.

1.1.1. Reseña histórica.

La historia de Alimentos Cárnicos es la suma de éxito, tenacidad, dedicación y desarrollo empresarial, que la convierten hoy por hoy en un referente de crecimiento para el Negocio Cárnico y para la industria de alimentos del país [2].

Como eventos determinantes en la operación de Alimentos Cárnicos a lo largo de la historia se destacan los siguientes:

- 1935. Empieza el montaje de Salsamentaría Suiza en Bogotá [2].
- 1955. Inicia labores Salchichería continental, más conocidas con el nombre de Cunit, en la ciudad de Barranquilla [2].
- 1968. Nace Rica Rondo Industria Nacional de Alimentos S.A, empresa ubicada en el Valle del Cauca [2].
- 1969. Es fundada la empresa Mil Delicias, cuyo producto estrella es la pasta hojaldrada [2].
- 1970. El Grupo Empresarial Antioqueño obtiene dos importantes empresas cárnicas colombianas: Suizo y Salchichería Continental. Como resultado de la asociación, la primera pasa a llamarse Frigorífico Suizo S.A. y la segunda recibe el nombre de Frigorífico Continental S.A. [2].
- 1975. Es una época de gran incremento en la producción de productos cárnicos enlatados, se constituye Frigorífico de Medellín S.A., empresa encargada del deshuese y almacenamiento de la materia prima cárnica para los productos Zenú [2].

- 1980. Se adquiere Tecniagro, empresa ubicada en Envigado-Antioquia, a la cual se le asignan las funciones de comercialización de bovinos, cerdos y materia prima cárnica [2].
 - Se crean las primeras granjas de cerdos que inician sus operaciones en el Oriente Antioqueño con la Granja la Esmeralda [2].
 - Mil Delicias se concentra en la línea de alimentos congelados [2].
 - Frigorífico Suizo S.A. opta por la razón social Suizo S.A. e inicia su desarrollo y consolidación como gran empresa nacional [2].
- 1995. Las actividades de Tecniagro y Frigorífico de Medellín S.A. fueron unificadas bajo una sola empresa, Tecniagro S.A [2].
- 1996. Se compra un lote en el parque industrial y comercial de Cauca (Caloto) y nace jurídicamente Frigorífico del Sur S.A [2].
 - Inicia operaciones Proveg Ltda., con la cual se fortalece la plataforma de producción para las empresas del Negocio Cárnico, respondiendo a la demanda de alimentos en el segmento de vegetales enlatados [2].
- 1999. Inicia el proceso operativo en la planta de Caloto-Cauca [2].
- 2002. Rica Rondo pasa a ser integrante del Grupo Inveralimentarias S.A., y posteriormente de Inversiones Nacional de Chocolates [2].
- 2007. Se realiza la adquisición para el Negocio Cárnico de la empresa Colombiana Mil Delicias. Que entra a complementar lo hecho por Zenú con la marca Sofía Express en el segmento de platos listos congelados [2].
- 2008. Como producto de un sueño del Grupo Nacional de Chocolates se consolida Alimentos Cárnicos S.A.S, con la fusión de siete empresas de alimentos colombianas: Rica Rondo, Suizo, Frigorífico Continental, Frigorífico del Sur, Tecniagro, Proveg y Productos Mil Delicias [2].

1.1.2. Estructura de la empresa.

La empresa cuenta con 250 trabajadores desempeñándose en las diferentes áreas de su estructura, la

Figura 1, muestra el organigrama de la empresa Alimentos Cárnicos sede Barranquilla, (Cunit).

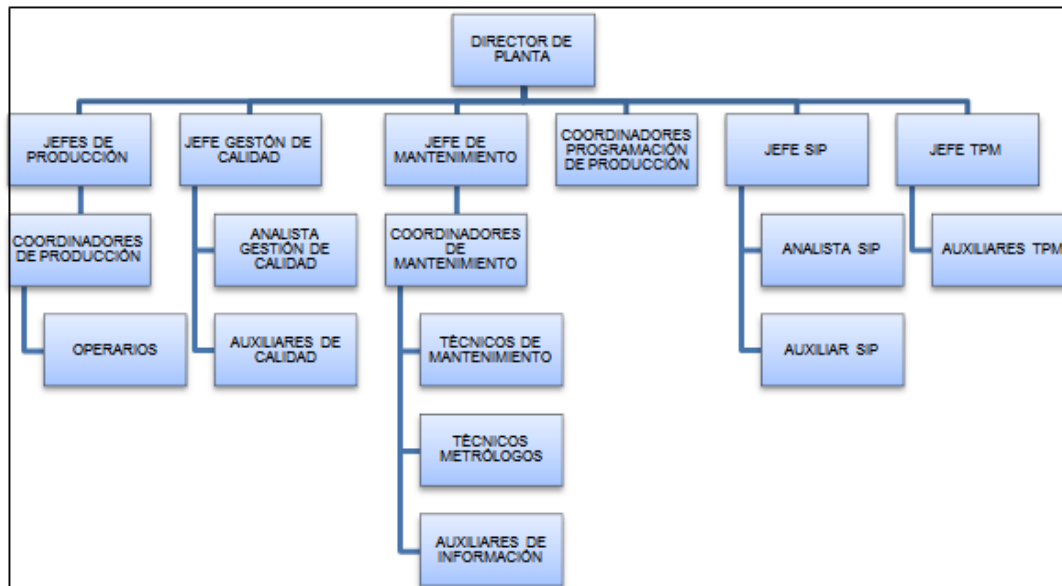


Figura 1 Organigrama de la empresa.

1.1.3. Áreas de producción.

A continuación se describen cada una de las áreas de la empresa:

1.1.3.1. Área de alistamiento.

La zona de alistamiento es el área de la empresa que se encarga de clasificar por tipo, pesar y retirar las envolturas a la MPC que se va a triturar en el molino CFS.

1.1.3.2. Área de pastas y mezclas.

La zona de Pastas y mezcla es el área de la empresa que se encarga de la molienda, mezclado y emulsificado de las distintas pastas para los productos que posteriormente van a ser embutidos. En la Tabla 1 se encuentran relacionadas las funciones de todos los equipos que conforman el área de Pastas y Mezclas.

Tabla 1. Listado de equipos que conforman el área de pastas y mezclas.

EQUIPOS	FUNCIONES
BANDA MPC 1.	Es la encargada de transportar la MPC hacia la tolva del molino.
MOLINO DE CARNE CFS MAXIGRIND.	Tritura la MPC.
TORNILLO ALIMENTADOR COZZINI.	Transporta la MPC triturada por el molino CFS hacia la banda doble vía MPC 3.
BANDA DOBLE VIA MPC 3.	Direcciona la MPC que le entrega el tornillo transportador cozzini hacia el mezclador WolfKing o Amfec.
MEZCLADOR WOLFKING.	Mezcla la MPC con la MPNC con movimientos y tiempos definidos por la receta seleccionada del producto.
MEZCLADOR AMFEC.	Mezcla la MPC con la MPNC con movimientos y tiempos definidos por la receta seleccionada del producto.
BOMBA COZZINI.	Recepciona la descarga de los mezcladores y bombea la pasta hacia el emulsificador cozzini.
EMULSIFICADOR COZZINI.	Le cambia la textura a la pasta, pasándola a través de un set de cuchillas.
EMULSIFICADOR STHEPHAN.	Le cambia la textura a la pasta, pasándola a través de un set de cuchillas, es de menor capacidad comparado en el cozzini.

La Figura 2 muestra la distribución de los equipos en el área de pastas y mezclas, el cuarto de condimentos es donde se pesa y dosifica en carros cutter la MPNC y otro tipo de insumos que se la aplican durante el mezclado a la receta procesada. Los mezcladores disponen de unos elevadores de columna que tienen un sistema de sujeción especial para agarrar los carros cutter, el operador lo coloca en él y vierte el ingrediente en el momento requerido. Además los mezcladores disponen de un sistema de dosificación de agua tanto caliente como fría para verterle a la receta automáticamente o manualmente.

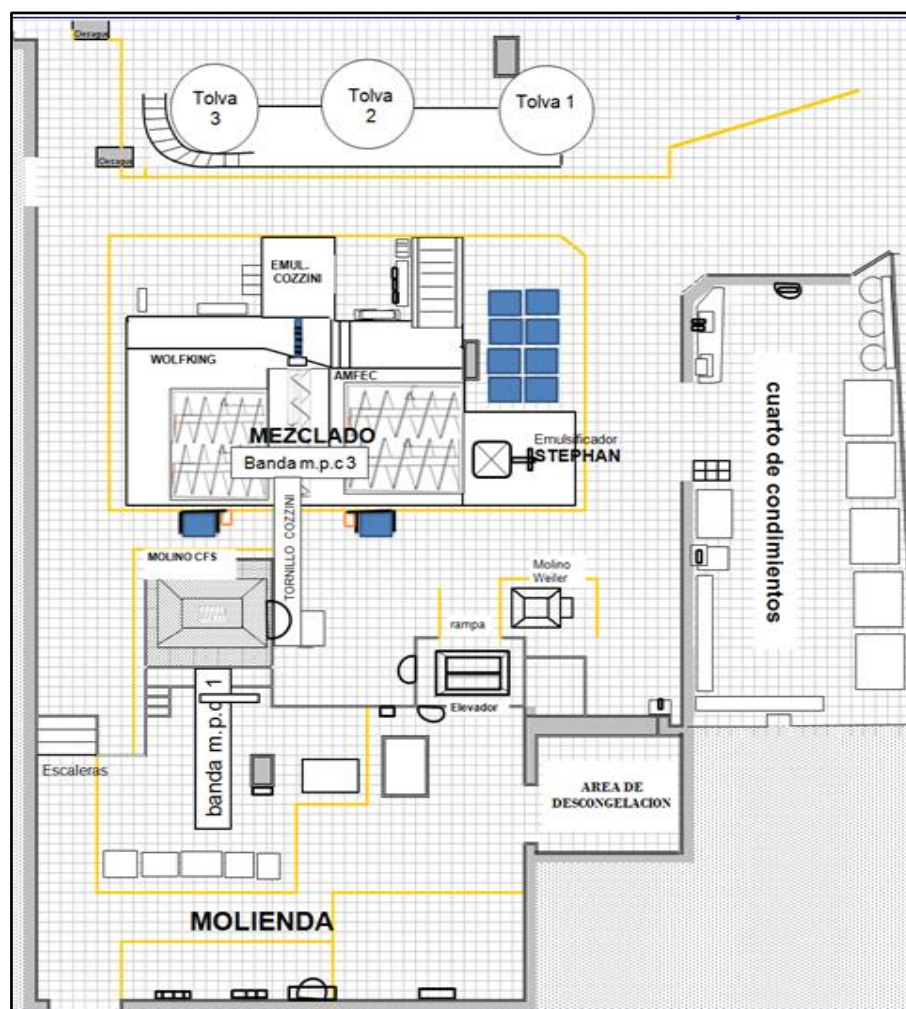


Figura 2. Distribución de los equipos en el área de pastas y Mezclas.

1.1.3.3. Área de embutido de salchichones.

En esta área se embuten las diferentes referencias de salchichones que se producen en la planta, el área de embutido se divide en tres líneas y cada línea está conformada por una embudidora VF, una detectora de metales, una grapadora Polyclip y una banda codificadora. En la Tabla 2 se encuentran relacionadas las funciones de todos los equipos que conforman el área de embutido de salchichones.

Tabla 2. Listado de equipos que conforman el área de embutidos de salchichones.

MAQUINA	FUNCIÓN
TOLVAS DE ALMACENAMIENTO No. 1 Y 2	Almacenan la pasta entregada por el emulsificador cozzini.
BOMBA WAUKESHA No. 1 Y 2	Bombean la pasta desde las tolvas de almacenamiento hacia las tolvas de las embutidoras VF.
EMBUTIDORAS VF300, VF628 1 y 2	Embuten la pasta en porciones definidas por el peso, diámetro y la velocidad de la referencia seleccionada del salchichón.
DETECTORAS DE METALES No. 1, 2 Y 3	Rechazan la pasta si detectan partículas metálicas y no metálicas.
GRAPADORAS POLYCLIP No. 1, 2 Y 3	Colocan el clip o la grapa que definen el largo y diámetro del salchichón, además de separarlos en las unidades requeridas; su velocidad se sincroniza con la velocidad de las embutidoras VF.
BANDAS CODIFICADORAS No. 1, 2 Y 3	Direccionan el salchichón hacia una corriente de aire caliente para limpiarlo e imprimirles un mensaje con la fecha de vencimiento y otros datos de producción.

1.1.3.4. Área de embutido de chorizos.

En esta área se embuten las diferentes referencias de butifarras y chorizos que se producen en la planta. En la Tabla 3 se encuentran relacionadas las funciones de todos los equipos que conforman el área de embutido de chorizos.

Tabla 3. Listado de equipos que conforman el área de embutidos de chorizos.

MAQUINA	FUNCIÓN
EMBUTIDORAS VF100 y VF200	Embuten la pasta en porciones definidas por el peso y la velocidad de la referencia seleccionada de butifarras o chorizos.

1.1.3.5. Área de embutido de salchichas.

En esta área se embuten las diferentes referencias de salchichas que se producen en la planta. En la Tabla 4 se encuentran relacionadas las funciones de todos los equipos que conforman el área de embutido de salchichas.

Tabla 4. Listado de equipos que conforman el área de embutido de salchichas.

MAQUINA	FUNCIÓN
TOLVA DE ALMACENAMIENTO No. 3	Almacena la pasta entregada por el emulsificador cozzini.
BOMBA WAUKESHA No. 3	Bombea la pasta desde la tolva de almacenamiento hacia la tolva de la bomba cozzini.
BOMBA COZZINI	Bombea la pasta suministrando la presión de trabajo que requiere la formadora nl17 para su operación.
FORMADORA DE SALCHICHAS NL17	Embute la pasta en porciones definidas por el peso, diámetro y la velocidad de la referencia del producto.

1.1.3.6. Área de cocción.

En esta área se cocinan los diferentes productos a vapor controlando en unas cámaras especiales la temperatura y humedad relativa. En la Tabla 5 se encuentran relacionadas las funciones de todos los equipos que conforman el área de cocción.

Tabla 5. Listado de equipos que conforman el área de cocción.

MAQUINA	FUNCIÓN
AHUMADEROS No. 1, 2, 3, 4 Y 5	Cocinan los productos en diferentes etapas, en cada una de ella se le garantiza una temperatura y humedad relativa determinada por la receta y referencia.
GENERADOR DE HUMO	Quema una viruta de madera especial y el humo generado se ingresa al ahumadero en una etapa específica, con la finalidad de brindarle al producto un color y sabor característico.

1.1.3.7. Área de enfriamiento.

En esta área la temperatura del producto se baja a -10°C en unas cámaras especiales, con el objetivo de producir un choque térmico y con ello la inhibición de microorganismos. En la Tabla 6 se encuentran relacionadas las funciones de todos los equipos que conforman el área de enfriamiento.

Tabla 6. Listado de equipos que conforman el área de enfriamiento.

MAQUINA	FUNCIÓN
TUNELES DE ENFRIAMIENTO No. 1, 2, 3 Y 4	Le bajan la temperatura al producto después de salir del ahumadero, con el fin de generarle un choque térmico e inhibir la proliferación de microorganismos en este.

1.1.3.8. Área de separado.

En esta área los diferentes productos (salchichas, butifarras y chorizos) son separados de acuerdo a su presentación, individual, de a dos, de a tres, entre otros. En la Tabla 7 se encuentran relacionadas las funciones de todos los equipos que conforman el área de separado.

Tabla 7. Listado de equipos que conforman el área de separado.

MAQUINA	FUNCIÓN
SEPARADORAS VEMAG E INOCTEC	Separan los chorizos, butifarras y salchichas de acuerdo a la presentación del producto en su empaque final; se pueden separar individual, de a dos, etc.

1.1.3.9. Área de empackado.

En esta área se empackan al vacío los diferentes productos (salchichas, chorizos y butifarras) de acuerdo a las presentaciones que están definidas en el mercado. En la Tabla 8 se encuentran relacionadas las funciones de todos los equipos que conforman el área de empackado.

Tabla 8. Listado de equipos que conforman el área de empackado.

MAQUINA	FUNCIÓN
EMPACADORAS TIROMAT No. 1 Y 2	Empacan al vacío las diferentes presentaciones de chorizos, butifarras y salchichas.
DETECTORAS DE METALES No. 1 Y 2	Rechazan si detectan dentro del paquete y producto partículas metálicas y no metálicas.
CODIFICADORAS VIDEOJETS No. 1 Y 2	Imprimen sobre el paquete un mensaje con la fecha de vencimiento y otros datos de producción.
BANDA DE CANASTAS	Transporta las canastas llenas de paquetes, previamente pesadas y etiquetadas, hacia las cavas de despacho.

1.2. Descripción del proceso de molienda de la materia prima cárnica.

1.2.1. Descargue y almacenaje de la materia prima cárnica.

La MPC utilizada en la elaboración de embutidos tiene procedencia nacional e internacional, esta es transportada hasta las instalaciones de la empresa manteniendo las condiciones de frío necesarias para su conservación. Particularmente en Barranquilla es transportada hasta las instalaciones de la empresa en camiones con contenedores especializados, los cuales son capaces de manejar temperaturas entre -25 °C y -20°C grados centígrados como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Camiones utilizados para el transporte de la materia prima.

Cuando este material llega a la empresa, se pesa previamente y se deposita en dos tipos de cavas diferentes de acuerdo a las características de refrigeración que requiere la MPC; El primer tipo de cava se denomina de congelación o conservación y maneja temperatura entre -20°C y -18°C , ver Figura 4. El segundo tipo de cava denominada de refrigeración y maneja temperaturas entre -6°C y -5°C .



Figura 4. Cavas de congelación o conservación.

1.2.2. Proceso de pre-alistamiento.

En el pre-alistamiento se toma la MPC de las cavas y se realiza su pesaje en básculas (como se muestra en la Figura 5) dependiendo del requerimiento de la referencia a ser procesada; agrupándola por cantidad y tipo de MPC sin realizar su pelaje.



Figura 5. Báscula para el pesaje de la MPC.

Para la primera tanda de producto el primer pre-alistamiento del día es realizado la noche anterior para luego en las tandas posteriores entrelazar esta actividad con el alistamiento final. Una vez realizado el pesaje un operario se encarga de transportar las estibas preparadas en la etapa de pre-alistamiento, llevándolas a las plataformas hidráulicas con las cuales se eleva el producto hasta ubicarlo en una mesa de acero inoxidable adecuada para la actividad.

1.2.3. Proceso de alistamiento final.

En esta etapa del proceso tres operadores realizan el pelaje de la MPC como se muestra en la Figura 6. Con la ayuda de plataformas hidráulicas lo ubican en una mesa para que el operario principal inicie el proceso de dosificación y molienda.



Figura 6. Pelaje de la MPC.

1.2.4. Proceso de dosificación y molienda.

El operador principal es la persona encargada de realizar el proceso de dosificación del molino que a su vez realiza la molienda o trituración de la MPC, a continuación se resumen sus funciones más importantes:

1.2.4.1 Registro de la temperatura.

Durante esta actividad el operador verifica la temperatura de la MPC antes de ser procesada, se garantiza que esta variable se encuentre dentro de los rangos necesarios para el proceso productivo y técnicos para la operación de los molinos. El operador inicialmente realiza una perforación con un punzón, después inserta un termómetro calibrado y finalmente registra el valor en un formato, ver Figura 7.



a)



b)

Figura 7. Registro de la temperatura de la MPC. a) Perforación de la MPC. b) Instalación de termómetro y registro de la temperatura.

1.2.4.2. Operación de los equipos.

El operador controla el funcionamiento de cuatro equipos, la banda transportadora (dirige la MPC hacia la tolva del molino CFS), el molino CFS (tritura la MPC), el tornillo transportador Cozzini (el material triturado y evacuado por el molino CFS se deposita en la tolva del tornillo, y la dirige hacia los mezcladores). Ver Figura 8.



a. Molino CFS



b. Banda transportadora MPC 1



c. Tornillo alimentador Cozzini



d. Carros cutter

Figura 8. Equipos controlados por el operador principal.

1.2.4.3. Dosificación de la MPC.

La dosificación de la MPC se debe realizar de manera tal que al caer en la tolva del molino CFS fluya fácilmente sin ocasionarle obstrucción, ver Figura 9. Esta actividad el operador la realiza alternando los diferentes tipos de MPC y verificando periódicamente la salida del molino y la tolva del tornillo alimentador. La dosificación se realiza principalmente bajo el criterio de operador, no existe documento o procedimiento que defina la secuencia de la MPC durante la dosificación del molino.

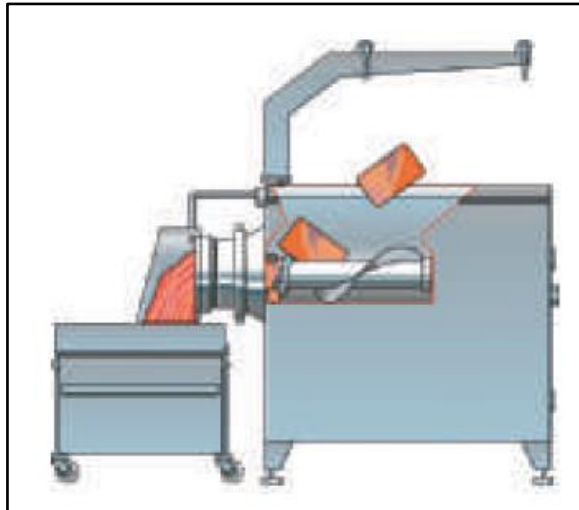


Figura 9. Dosificación y molienda de la MPC.

1.2.4.4. Documentación de los diferentes formatos de producción.

Antes de iniciar y después de finalizada la operación de molienda, el operador documenta los diferentes formatos necesarios para mantener la trazabilidad de la producción.

1.2.5. Proceso de higiene del área.

La higiene del área es responsabilidad de dos operarios subcontractados designados únicamente para esta labor, un operario se encarga del sostenimiento de la limpieza del área (cavas y zona de molienda) es decir dedicado a escurrir y recolectar desperdicios de material (MPC plásticos y cartón) y un segundo operario se dedica al apoyo del primero en las labores de recolección de desperdicios y retiro de los mismos; colaborando también con el suministro y retiro de estas en el proceso de descongelación, desempaste, enjuague de equipos y escurrido del techo. Todo esto con el propósito de mantener el área limpia.

1.3. Generalidades del molino Maxigrind CFS.

1.3.1. Descripción general del equipo.

El molino o picadora CFS referencia MAXIGRIND 400HD (Heavy Duty) es un equipo muy resistente diseñado para procesar bloques congelados de grandes dimensiones, además de carne fresca y mezcla de productos fresco/congelados, este se encuentra en dos versiones diferente: tipo S y S2T [3].

- Tipo S: Forro corto (Cámara de corte o camisa estriada), se suele utilizar para una moltura basta de productos frescos y congelados, entre un rango de temperaturas de 2 a -15°C, con una placa perforada de 8mm de diámetro. En el caso de productos frescos el diámetro se puede reducir a 3.2mm.
- Tipo ST: Forro corto, se suele utilizar con productos ultra congelados entre un rango de temperaturas de 2 a -25 °C.

La empresa Alimentos Cárnicos dispone en su proceso de producción un molino CFS Maxigrind 400HD de forro ST con características que se describen en la Tabla 9.

Tabla 9. Datos de referencia rápida Molino CFS.

DESCRIPCIÓN	CFS MAXIGRIND 400	CFS MAXIGRIND 400 HD
SET DE CORTE	400mm / 15.8Pulg	400mm / 15.8Pulg
VOLUMEN DE LA TOLVA	415 Litros / 109.6 Galones	680 Litros / 179.5 Galones
DIMENSIONES (ALTO-ANCHO-PROFUNDIDAD)	1925 - 1400 - 1840 mm	2005 - 1650 - 2200 mm
PESO	3200 Kg	3900 Kg
TEMPERATURA DE PRODUCTO	VERSION S: 2 a -15 °C.	VERSION S: 2 a -15 °C
	VERSION ST: 2 a -25 °C	VERSION ST: 2 a -25 °C
LONGITUD MAXIMA BLOQUES	800 mm / 31.2Pulg	800 mm / 31.2Pulg

1.3.2. Dimensiones del equipo.

Las dimensiones en milímetros y pulgadas del molino se describen en la Tabla 10 y visualizan en la Figura 10.

Tabla 10. Descripción de las dimensiones del Molino CFS en milímetros.

MEDIDA	DESCRIPCION	VALOR (mm)
A	Altura desde la pata frontal hasta la guarda del cañón de salida	760
B	Profundidad de la guarda del cañón de salida	495
C	Distancia desde la pata frontal hasta la guarda del cañón de salida	905
D	Profundidad del molino	2200
E	Altura del peldaño desde la pata próxima a este	750
F	Distancia de despliegue del peldaño desde la pata próxima a este	480
G	Ancho de la guarda del cañón de salida	585

Tabla 10. Descripción de las dimensiones del Molino CFS en milímetros.

MEDIDA	DESCRIPCION	VALOR (mm)
H	Ancho del molino.	1650
I	Distancia del sensor de la guarda del cañón de salida.	950
J	Alto del molino.	2005

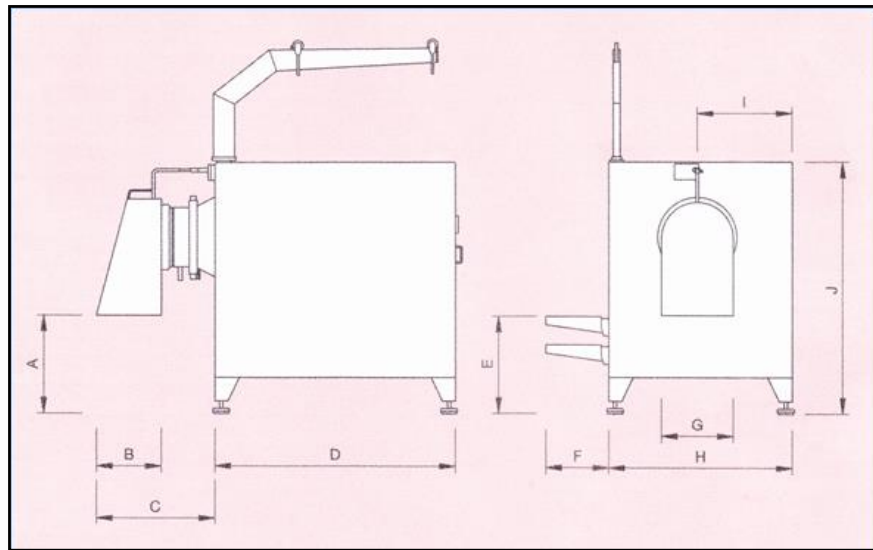


Figura 10. Dimensiones Molino CFS.

1.3.3. Descripción de los sistemas que conforman al equipo.

El molino CFS se divide en seis sistemas,

- 01 Sistema de seguridad
- 02 Sistema eléctrico
- 03 Sistema de transmisión
- 04 Sistema de alimentación
- 05 Sistema de corte
- 06 Estructura

1.3.3.1. Sistema de seguridad.

El molino CFS dispone de cuatro (4) sensores de seguridad, cuando alguno de estos es accionado el equipo se apaga inmediatamente y enciende únicamente cuando se repone la condición de seguridad, a continuación se enumeran los elementos que conforman este sistema:

- Sensor de seguridad guarda de salida.

- Sensor de seguridad peldaño (actualmente este sensor se encuentra deshabilitado).
- Sensores magnéticos de seguridad de las puertas traseras No. 1 y 2.
- Paros de emergencia en estaciones de mando No. 1 y 2.

Los sensores de las puertas tienen la característica de ser magnéticos es decir necesitan de un imán para que se accionen, el sensor se encuentra ubicado en la estructura y el imán en la puerta; al abrirse la puerta el imán se aleja del sensor y este se desactiva, conmutando los contactos normalmente cerrados (NC) y abiertos (NA) que se utilizan para el control. El sensor de la guarda de salida y del peldaño, es un sensor inductivo que tiene la característica de activarse cuando un gancho metálico de la guarda se inserta en una ranura de este; además posee una bobina que se energiza y enclava el gancho cuando este se encuentra en la ranura y el molino se encuentra en movimiento, para retirar el gancho el equipo debe estar detenido. Los sensores de seguridad, ver Figura 11; evitan los riesgos relacionados con elementos mecánicos en movimiento, las cuchillas y discos de cortes.



a. Sensor guarda de salida.



b. Sensor de las puertas traseras.

Figura 11. Sensores de seguridad del molino CFS.

1.3.3.2. Sistema eléctrico.

El sistema eléctrico está conformado por los siguientes elementos,

1.3.3.2.1. Alimentación eléctrica o potencia.

La alimentación eléctrica del equipo proviene de la subestación principal a través de seis conductores THWN calibre (4/0, dos conductores por fase) y recorren una trayectoria de 52 metros; el voltaje de línea es de 440 VAC y se dispone de un interruptor (breaker) de 300 amperios para la protección de los conductores, referencia ECZ400N fabricante Schneider Electric, ver Figura 12.



Figura 12 Breaker de protección alimentación Molino CFS.

Los conductores llegan a un seccionador o desconectador (-1Q0) en el tablero eléctrico del cual se deriva la alimentación a los contactores de inversión de giro (-2KM1 y -2KM3) y un transformador (-1T4) de 440/220VAC para el voltaje de control. Ver Figura 13.

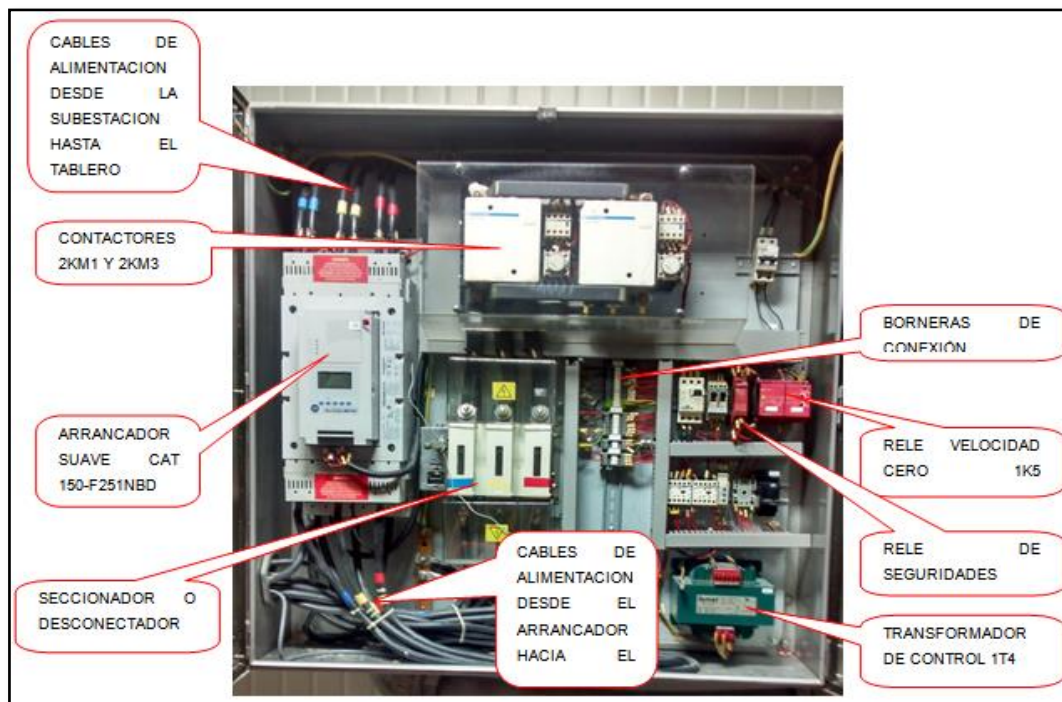


Figura 13. Identificación de los componentes dentro del tablero eléctrico.

Dependiendo el comando de marcha se activan los contactores para suministrarle al arrancador suave (de marca Allen Bradley y referencia CAT 150-F251NBD Serie B) la alimentación eléctrica con la secuencia de las fases de tal manera que el contactor (-2KM1) corresponde a la marcha hacia adelante y el (-2KM3) marcha en reversa.

El motor eléctrico se conecta en el arrancador suave en configuración o conexión DELTA a través de seis conductores THWN calibre (0000 o 1/0, dos conductores por fase) los cuales recorren una trayectoria de 15 metros desde el tablero hasta el molino, además estos conductores o líneas de alimentación se interrumpen antes de llegar al motor a través de un seccionador (+JB02), ver Figura 14. De la salida arrancador suave en los borne T1 y T4 se toma una señal eléctrica que llega a un relé de velocidad cero (-1K5), este relé tiene la función de garantizar que el motor se accione en marcha adelante o en reversa, únicamente cuando este se encuentre detenido.



Figura 14. Seccionador (+JB02).

Es muy importante aclarar que el código que se encuentra dentro de paréntesis al lado de los componentes mencionados corresponde al código asignado por el fabricante del molino para identificarlos en los planos eléctricos, además en la Tabla 11 se relaciona el costo unitario de parte de los componentes del sistema eléctrico y de seguridad.

Tabla 11. Costo unitario de parte de los componentes del sistema de seguridad y eléctrico.

DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO
ARRANCADOR SUAVE	1	\$5.314.176
KIT DE CONTACTOS LC1-F265	2	\$880.000
CONTACTOR LC1-F265	2	\$2.040.500
SENSOR DE SEGURIDADES 250 VAC REC NA+ NO GD2 2AC	2	\$390.000
MODULO DE SEGURIDADES	1	\$600.000
RELE DE VELOCIDAD CERO	1	\$900.000
MICRO FRONTAL 2 NC + NO BOBINA 24VAC	1	\$1.265.755
RODAMIENTOS MOTOR ELECTRICO 6319 C3 2ZZ	1	\$589.000
RODAMIENTOS MOTOR ELECTRICO 6316 C3 2ZZ	1	\$237.986

1.3.3.2.2. Tablero eléctrico.

El tablero eléctrico principal (+SP01), está fabricado en material acero inoxidable y sus dimensiones se muestran en la Figura 15,

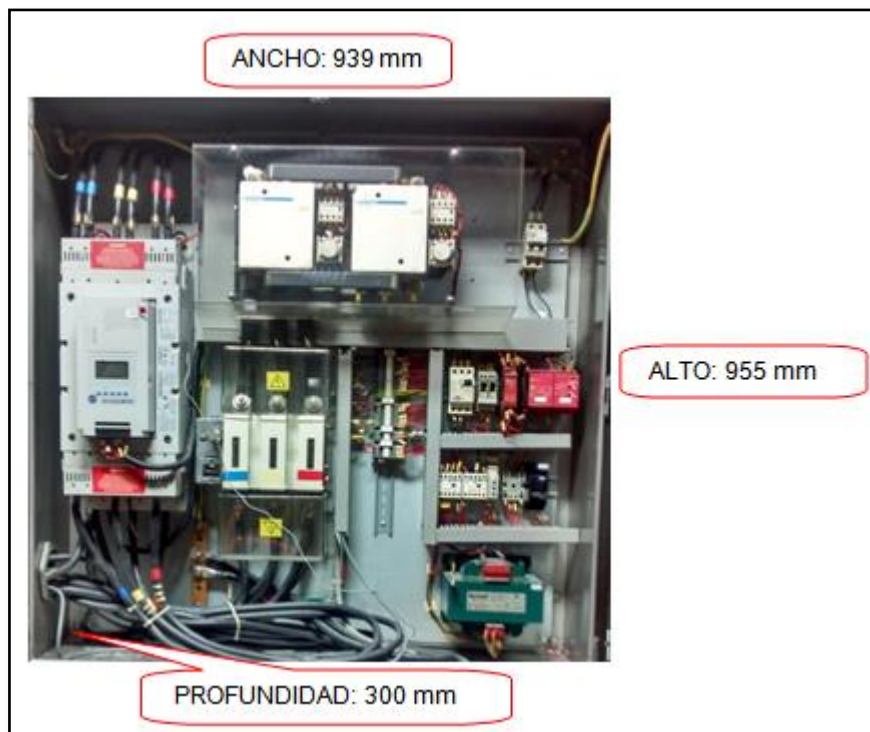


Figura 15. Dimensiones y distribución interna de los elementos en el tablero eléctrico del Molino CFS.

Actualmente el tablero eléctrico no dispone de ventiladores o de otros medios para su refrigeración, la zona de ubicación del tablero se caracteriza por abundante polvo (harina) dispersa en el medio.

1.3.3.2.3. Elementos de mando para el Molino CFS.

El Molino CFS dispone de dos estaciones de mando para encender y apagar el equipo, la estación de mando número 1 se encuentra en el área de alistamiento de carnes donde se encuentra el operador. La otra estación de mando se encuentra al lado o cerca de la guarda de salida, las estaciones de mando disponen de los siguientes botones pulsadores:

- Botón pulsador marcha **ADELANTE**
- Botón pulsador **PARO**
- Botón pulsador marcha en **REVERSA**
- Botón pulsador **PARO DE EMERGENCIA**

En la estación de mando No.1 se encuentran los comandos para encender y apagar equipos complementarios a la operación del molino CFS como lo son

la banda transportadora MPC1 y el tornillo COZZINI, es importante resaltar que el molino CFS no arranca sin que antes no se encuentre encendido el tornillo COZZINI, para garantizar la inmediata evacuación de la materia prima cárnica triturada.



a. Estación de mando 1



b. Estación de mando 2

Figura 16. Estaciones de mando del Molino CFS.

1.3.3.3. Sistema de alimentación y de corte.

Este sistema tiene la función de triturar la MPC que es depositada en la tolva de molino, para este proceso el sistema de alimentación y corte se conforma por los elementos mostrados en la Figura 17.

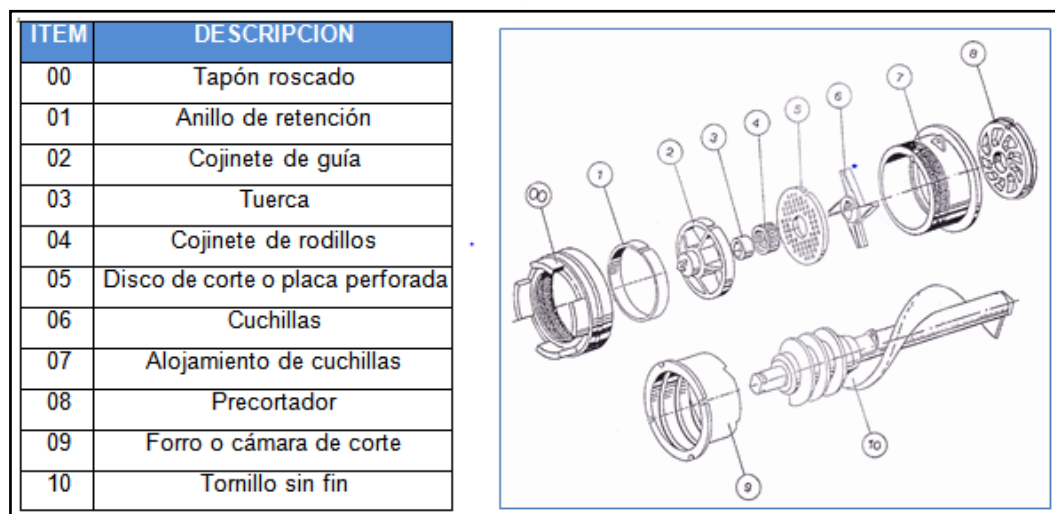


Figura 17. Descripción de los elementos que conforman el sistema de alimentación y corte

El tornillo sin fin, ver Figura 18. es el primer elemento que tiene contacto con la MPC su función principal es destrozarse los bloques congelados o refrigerados y empujarlos hacia la cámara de corte donde se encuentran el disco precortador, el disco de corte y el portacuchillas, los cuales definen el tamaño del grano de la MPC ya triturada. Los demás componentes son básicamente los soportes que centran y ajustan todos los elementos a la estructura del molino.



a. Tornillo sin fin



b. Tornillo sin fin en contacto con la MPC.

Figura 18. Tornillo sin fin.

Las imágenes en la Figura 19 y Figura 20 muestran los operadores contratistas que se encargan del armado del equipo.



a. Izado del tornillo sin fin.



b. Montaje del tornillo sin fin.

Figura 19. Operadores contratistas durante el armado del equipo



c. Montaje alojamiento de cuchillas.



d. Montaje portacuchillas.



e. Montaje cojinete de guía.



f. Montaje guarda de salida.

Figura 20. Operadores contratistas durante el armado del equipo

Como los elementos son pesados y robustos para su armado se requiere del uso de diferenciales y cadenas para levantarlos, toda la actividad del armado requiere un tiempo aproximado de una hora y únicamente se realiza una sola vez en el día en horas de la madrugada.

1.3.3.4. Sistema de transmisión.

El sistema de transmisión está conformado básicamente por motor eléctrico, las poleas, las correas y la caja reductora de velocidad, la Figura 21 muestra sus elementos principales.

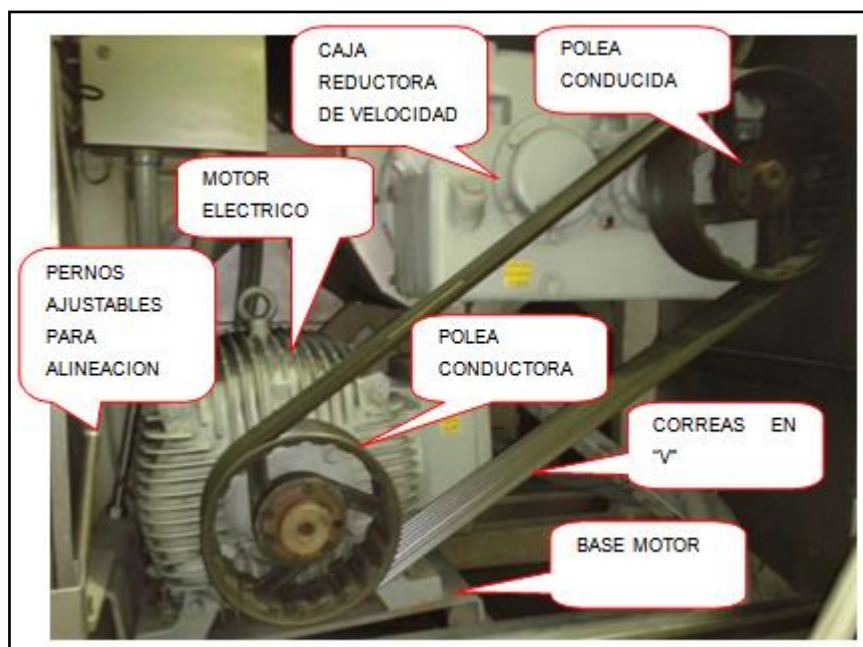


Figura 21. Elementos principales del sistema de transmisión.

El Molino CFS posee un motor eléctrico de inducción, para accionar por medio de ocho (8) correas en “V” referencia 3250 XPB una caja reductora de velocidad la cual le transmite movimiento al tornillo sin fin y este a su vez al sistema de alimentación y corte. El motor eléctrico se encuentra ubicado sobre la estructura del equipo en una base con pernos ajustables para tensionar o des tensionar las correas cuando una actividad de mantenimiento lo amerite.

La Tabla 12 contiene los datos de la placa de características del motor eléctrico de inducción.

Tabla 12. Datos placa de características motor eléctrico.

MOTOR MOLINO CFS			
POTENCIA	245 HP / 185 KW	MARCA	WEG
VOLTAJE	440	CLASE AISL.	N/P
CORRIENTE	265	TYPE	N/P
F.P	0,84	IP	55
EFICIENCIA	N/P	F.S	N/P
RPM	1780	HZ	60
FORMA CONSTR.	315SM4	PESO	1025

La Tabla 13 contiene los datos de la placa de características de la caja reductora de velocidad.

Tabla 13. Datos placa de características caja reductora de velocidad.

CAJA REDUCTORA DE VELOCIDAD SERIE "H" GEAR UNIT	
MARCA	DAVID BROWN
TYPE	H2 225 EX
RELACIÓN	12 - 6.1
RANGO POTENCIA	110 kW
RPM SALIDA	90
PERIODO CAMBIO DEL ACEITE	SEIS MESES
DB GRADO ACEITE	6E

La Tabla 14 contiene las dimensiones de las poleas y la relación de velocidad actual de funcionamiento.

Tabla 14. Dimensiones de las poleas y relación de velocidad.

CAJA REDUCTORA DE VELOCIDAD SERIE "H" GEAR UNIT	
DIAMETRO EN MILIMETROS DE LA POLEA CONDUCTORA O DEL MOTOR	324
DIAMETRO EN MILIMETROS DE LA POLEA CONDUCTA O DE LA CAJA	410
RPM SALIDA MOTOR	1780
RPM ENTRADA CAJA	1196
RPM SALIDA CAJA	110

1.3.4. Actividades de mantenimiento realizadas al molino CFS.

Las labores del mantenimiento al molino CFS se dividen en actividades eléctricas, mecánicas y de afilado. Las primeras se enfocan en el sistema eléctrico y de seguridad; las segundas se enfocan en los sistemas de corte, transmisión, alimentación y estructura; las de afilado se enfocan de ciertos componentes del sistema de corte que necesitan de un pulido en su superficie para trabajar correctamente. Estas actividades normalmente son ejecutadas por tres técnicos encargados del equipo; un electricista y dos mecánicos industriales. Dependiendo del alcance del mantenimiento y de periodo de tiempo disponible a estas personas se les anexan otras para llevarlas a cabo.

1.3.4.1. Actividades de mantenimiento eléctrico.

A continuación se describen las actividades de mantenimiento eléctrico realizadas al molino CFS,

1.3.4.1.1. Limpieza general del tablero eléctrico y las estaciones de mando.

Un fin de semana al mes se coordina las actividades de mantenimiento denominadas IT+L (Inspección técnica más lubricación) a todo el equipo, al sistema eléctrico particularmente se le realizan, la limpieza del tablero eléctrico y estaciones de mando, ajustes de bornes de conexión, revisión visual de todos los componentes, pruebas en vacío, estado y funcionalidad de las seguridades.

1.3.4.1.2. Limpieza de los ventiladores del arrancador suave.

Durante el IT+L se verifica su funcionamiento y semestralmente se desmontan y se limpian, ver Figura 22.



Figura 22. Ventiladores del arrancador suave.

1.3.4.1.3. Limpieza de los contactos de potencia.

Anualmente se desmontan, se limpian y pulen (con papel lija) las superficies de los contactos. Dependiendo del nivel de deterioro puede reemplazarse el kit de contactos durante esta actividad. Ver Figura 23.



Figura 23. Contactos de potencia de los contactores +KM1 y 2.

1.3.4.1.4. Termografía al tablero eléctrico.

La termografía del tablero eléctrico se realiza con un periodo de tiempo irregular, es decir no tiene establecido la frecuencia de ejecución, pero cuando se realiza se determina el estado de las conexiones en el tablero eléctrico. Es muy importante resaltar que a finales del año 2013 se realizaron unas adecuaciones en el área de pasta y mezclas, y el tablero eléctrico principal del Molino CFS quedo ubicado en un lugar de difícil acceso, lo cual requiere de un equipo de elevación especial disponible en la planta pero aun así se dificulta la ejecución de esta y otras actividades de mantenimiento.

1.3.4.1.5. Cambio de rodamientos al motor eléctrico.

Los rodamientos del motor eléctrico se cambian preventivamente con un periodo de tiempo de cuatro años, esta actividad coincide además con unas actividades de mantenimiento a la caja reductora de velocidad.

1.3.4.1.6. Pruebas de las condiciones de operación en vacío.

Después de finalizar las actividades de mantenimientos tanto eléctricas como mecánicas se realizan las pruebas de condiciones de operación en vacío y posteriormente seguimiento al equipo con carga, ejemplo de rutina son la percepción de ruidos anormales, medición de amperajes y pruebas de las seguridades.

1.3.4.2. Actividades de mantenimiento mecánico.

A continuación se describen las actividades de mantenimiento mecánico realizadas al molino CFS.

1.3.4.2.1. Limpieza e inspección al sistema de transmisión y de corte.

Un fin de semana al mes se coordina las actividades de mantenimiento denominadas IT+L a todo el equipo, a la parte mecánica particularmente se le inspeccionan los siguientes puntos:

- Revisar el estado físico de las poleas y la tensión de las correas.
- Revisar el estado físico del aceite y su nivel en la caja reductora de velocidad.
- Realizar limpieza general del equipo.
- Revisar estado físico y ajuste del tornillo sin fin.
- Revisar estado físico y medidas de la punta del tornillo sin fin.
- Revisar estado físico y ajuste del forro o cámara de corte.
- Revisar estado físico y ajuste de las cuñas del forro o cámara de corte.
- Revisar estado físico del rodamiento de rodillos.
- Revisar estado físico y medidas de la pista interna.
- Revisar estado físico y medidas de la pista externa.
- Revisar estado físico y medidas del cojinete de guía o porta-rodamiento.

1.3.4.2.2. Cambio de repuestos mensual.

Cada mes y dependiendo de su estado físico se realiza el cambio del rodamiento de rodillos, la pista interna y la externa. La Figura 24 muestra los criterios que sugiere el catalogo del proveedor para el reemplazo de estos elementos. [3]

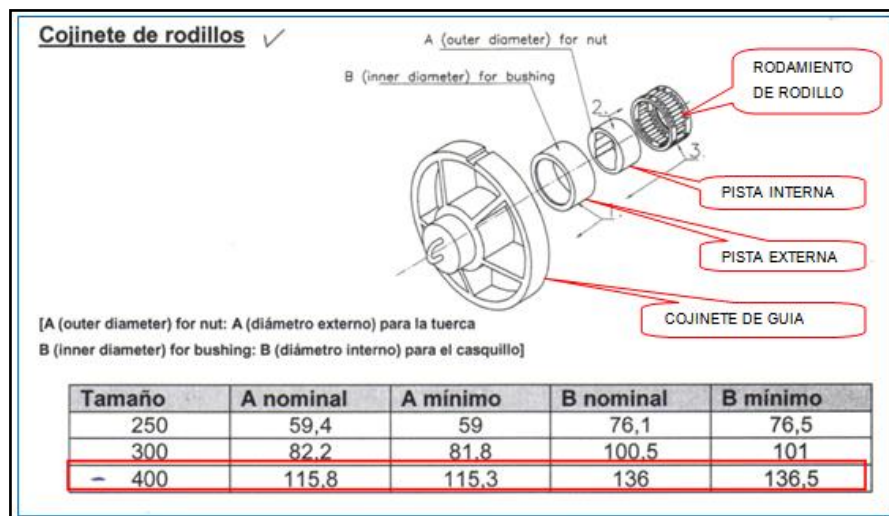


Figura 24. Medidas mínimas para la pista interna y externa del cojinete de guía.

1.3.4.2.3. Cambio de repuestos trimestrales.

Cada tres meses se realiza cambio de los sellos en el toma fuerza del molino, este componente es donde se acopla el tornillo sin fin con la caja reductora de velocidad, y a través del cual se le transmite movimiento a las partes móviles del sistema de corte. Ver Figura 25.



a. Toma Fuerza.

b. Tornillo sin fin antes de acoplarse con él toma fuerza.

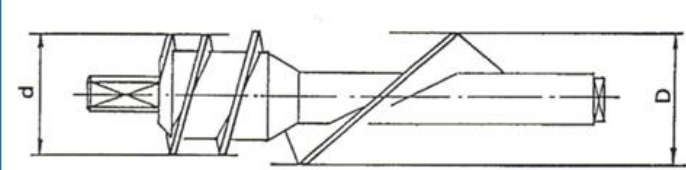
Figura 25. Cambio de repuestos trimestrales.

1.3.4.2.4. Cambio de repuestos anual.

Cada año se realiza el cambio de los siguientes repuestos:

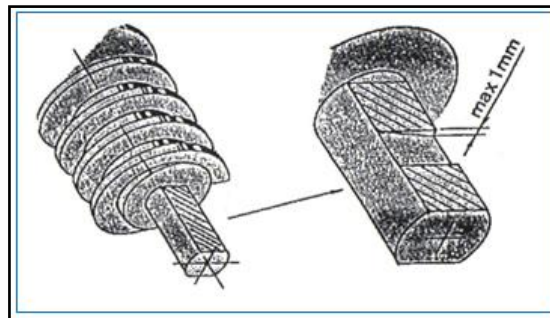
- Cambio de las correas (ocho en total).
- Cambio del rodamiento y sellos a la salida de la caja reductora de velocidad.
- Cambio del aceite de la caja reductora de velocidad referencia Klubersynth UH1-6-460 marca Kluber.
- Cambio de las cuñas del forro o cámara de corte.
- Cambio de la punta del tornillo sin fin (del tornillo sin fin se tienen dos, cuando se realiza esta actividad el de stand by se envía hacia el lugar donde se practica el procedimiento por el tiempo necesario para tal actividad).
- Rectificar o cambiar el cojinete de guía o porta-rodamiento.

La Figura 26 muestra las sugerencias del catálogo del proveedor sobre las medidas de desgaste máximo en varios puntos críticos sobre el tornillo sin fin para su reemplazo o mantenimiento. [3]



Tipo de pasador sin fin	d nominal	d mínimo productos duros	d mínimo productos blandos	D nominal	D mínimo
S	310	305	307	354	344
S2T	255	250	no blandos	354	344

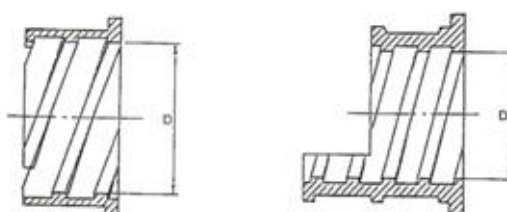
a. Desgaste máximo para el diámetro del tornillo sin fin.



b. Desgaste máximo para la punta del tornillo sin fin.

Figura 26. Medidas de desgaste máximo en puntos críticos del tornillo sin fin.

La Figura 27 muestra las sugerencias del catálogo del proveedor sobre las medidas de desgaste máximo en el forro o cámara de corte para su reemplazo o mantenimiento. [3]



Tipo	D nominal	D máximo: productos duros	D máximo: productos blandos
S	314	319	316
S2T	260	265	No se aplica a productos blandos

Figura 27. Medidas máximas para el diámetro del forro o cámara de corte.

Otras actividades de mantenimiento mecánicas son, el cambio de los diferenciales con los que se realizan el izado de los elementos durante el armado y alistamiento del equipo. Además del desarme o overhaul de la caja reductora de velocidad y el cambio de rodamientos del motor eléctrico, actividades que están concebidas para un periodo de tiempo entre 4 y 5 años.

Todas las actividades mencionadas con anterioridad son el resultado de la experiencia del personal de mantenimiento entre ingenieros y técnicos con el equipo, sugerencias del catálogo y visitas realizadas por técnicos especialistas del representante de la marca en el país.

1.3.4.3. Actividades de afilado o pulido.

Las cuchillas, los discos de corte y pre-cortadores deben afilarse diariamente hasta que sus dimensiones lleguen a un límite al cual el proveedor del equipo sugiere su cambio. Esta actividad se realiza en una afiladora horizontal que consta principalmente de una base magnética donde fija el elemento a afilar y un motor eléctrico el cual dispone en su eje una piedra con grano de gran abrasión.

La Figura 28 muestra un disco de corte y las cuchillas después de haber sido utilizados durante la molienda y antes de ser afilados.



Figura 28. Disco de corte y cuchillas antes de ser afilados.

En la Figura 29 se muestran las partes principales de la afiladora, durante el proceso de afilado se aplica un lubricante.



Figura 29. Componentes principales de la afiladora.

La Figura 30 muestra cómo quedan los discos después de haberse afilado y listos para ser utilizados.



Figura 30. Disco de corte y precortador después de haberse afilado.

1.3.5. Fallas en el funcionamiento del molino CFS.

De las fallas que ha presentado el molino CFS se selecciona como un caso especial al arrancador suave como uno de sus elementos que falla y se desconoce la causa raíz que la origina, se ha dañado en tres ocasiones generando para el proceso productivo retrasos y pérdidas, es muy importante resaltar que en los momentos que se presenta la eventualidad se prioriza en el cambio del componente y por consiguiente la normalización del funcionamiento del proceso productivo que en investigar a profundidad la causa raíz del problema, a continuación se resumen los años y modos de fallas del arrancador suave:

1.3.5.1. Resumen año 2009.

En el mes de septiembre del 2009 este componente por primera vez presentó problemas después de aproximadamente tres años en funcionamiento (2006-2009), el equipo arrojaba el código de fallo No. 10 cuya descripción es PTC Power Pole, después de revisar los puntos que el proveedor y el manual sugirieron el equipo se cambió (por uno nuevo), ya que se bloqueaba por sobre temperatura y detenía el proceso por periodos de tiempos prolongados.

1.3.5.2. Resumen año 2012.

En el mes de julio del 2012 el componente por segunda vez presentó problemas, nuevamente después de aproximadamente tres años en funcionamiento (2009-2012), el equipo arrojaba inicialmente el código de fallo No. 16 cuya descripción es No load A, hasta que por ultimo arrojó el código de fallo No. 4 cuya descripción es Shorted SCR A después de revisar los puntos que el proveedor y el manual sugirieron el equipo se cambió (por uno nuevo) ya que inicialmente se bloqueaba y detenía el proceso, hasta el punto en que no podía operar más.

1.3.5.3. Resumen año 2014.

En el mes de febrero del 2014 el componente por tercera vez presentó problemas, después de aproximadamente diecinueve meses en funcionamiento (2012-2014), el equipo se detenía esporádicamente arrojando el código de fallo No. 16 cuya descripción es No load A. Para arrancar el equipo era necesario que el operador del molino evacuara materia prima cárnica de la tolva de este. En otras ocasiones el modo de falla se presentaba en el arranque. El equipo se cambió preventivamente ya que generaba retrasos en la producción.

1.4. Generalidades de los arrancadores suaves.

El motor trifásico asíncrono es el motor más usado en el mundo de las instalaciones industriales y en grandes edificios. Simple en términos de diseño y manejo, flexible en diversos campos de aplicación y con un funcionamiento económico. Es la solución más favorable cuando hablamos de relación calidad-precio [4].

Lo que caracteriza al motor trifásico es el alto consumo de intensidad cuando lo alimentamos con carga a través de un arranque directo. Cuando aplicamos

tensión directa lo que obtenemos es una sobre-intensidad que puede causar caídas de tensión de red y problemas en los sistemas mecánicos [4].

Desde la invención del motor trifásico – ya hace más de 100 años (1889) – se han desarrollado diferentes conceptos y soluciones para la puesta en marcha, que tienen por objetivo eliminar efectos secundarios desagradables. Sin embargo, para que estos conceptos y soluciones cumplan el deseo de un rendimiento óptimo y satisfactorio en la puesta en marcha, dependerá de la aplicación y, finalmente, de los aspectos económicos [4].

1.4.1. Soluciones para la puesta en marcha de un motor eléctrico asíncrono.

Dado que el problema del arranque brusco de un motor eléctrico de inducción existe desde hace mucho tiempo ya se han presentado e intentado varias soluciones para el mismo. Entre ellas se encuentran comúnmente en aplicaciones industriales las siguientes soluciones [5]:

1.4.1.1. Arrancador Estrella/Triángulo.

Una de las primeras soluciones para este problema fue el arrancador estrella/triángulo. Durante el arranque, este sistema conecta los devanados del estator del motor en una configuración en estrella entre la fase y el neutro de la red de alimentación, reduciendo así la tensión del motor –y por tanto la intensidad en el mismo – según el factor $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$ [5].

En cuanto se supera el momento principal de inercia, los devanados del motor se conectan en una configuración de triángulo entre fases de la red con el fin de que el motor alcance su tensión y potencia máximas. Sin embargo, este arrancador no elimina los fenómenos transitorios mecánicos y eléctricos no deseados, ya que solo los reduce ligeramente y los distribuye entre puntos a lo largo del tiempo: la conmutación original y el cambio subsiguiente entre estrella y triángulo [5].

Lo dicho es válido en condiciones normales, pero en otras circunstancias el cambio de estrella a triángulo puede tener, desafortunadamente, peores efectos que el arranque directo en línea. En definitiva, el arrancador estrella/triángulo es para este problema una solución sencilla, pero también bastante limitada [5].

1.4.1.2. Motor de anillos rozantes.

Otra de las primeras soluciones fue el motor de anillos rozantes. Este motor se pone en marcha mediante un reóstato de arranque conectado al circuito del rotor por medio de un dispositivo de anillos rozantes. De esta forma puede reducirse la intensidad de arranque aunque el par del motor permanece en el nivel necesario para poner en marcha la carga [5].

Durante el progreso de la puesta en marcha, y a medida que el motor va ganando velocidad, la resistencia del rotor se reduce gradualmente. Cuando el reóstato se desconecta totalmente del circuito el motor puede girar a máxima velocidad. En ese momento se cortocircuitan los devanados del motor, de forma que el motor empieza a funcionar como un motor normal de jaula de ardilla [5].

La ventaja del motor de anillos rozantes es que puede obtenerse un par elevado con una corriente de arranque limitada. Esta solución es especialmente apropiada para las aplicaciones que tienen una gran carga desde el principio como es el caso, por ejemplo, de las trituradoras y molinos [5].

Su desventaja es la mayor complejidad electromecánica –escobillas, anillos rozantes, resistencias y contactores, que incrementa los costes (inclusive los de mantenimiento) y reduce la fiabilidad [5].

1.4.1.3. Arrancador suave.

El arrancador suave, que llegó al mercado entre finales de los setenta y principios de los ochenta, tiene en común con el convertidor de frecuencia el ser un dispositivo electrónico basado en tiristores. Puede decirse que en cuanto a funcionalidad y precio ocupa el espacio que existe entre los arrancadores estrella/triángulo y los convertidores de frecuencia [5].

Con los arrancadores suaves se puede controlar la tensión del motor de forma que esta aumente gradualmente durante la puesta en marcha, ver Figura 31, lo que naturalmente limita la intensidad de arranque. Esto significa que el motor se pone en marcha suavemente y que los esfuerzos mecánicos y eléctricos se reducen al mínimo. Como los tiristores solo están activos durante la fase de aceleración o desaceleración, pueden ser cortocircuitados (o hacer un bypass) durante la operación continua y las pérdidas en el arrancador suave se pueden reducir gracias a la inferior resistencia que ofrecen los contactos mecánicos de la conmutación, además de aumentársele la vida útil de estos componentes electrónicos [4].

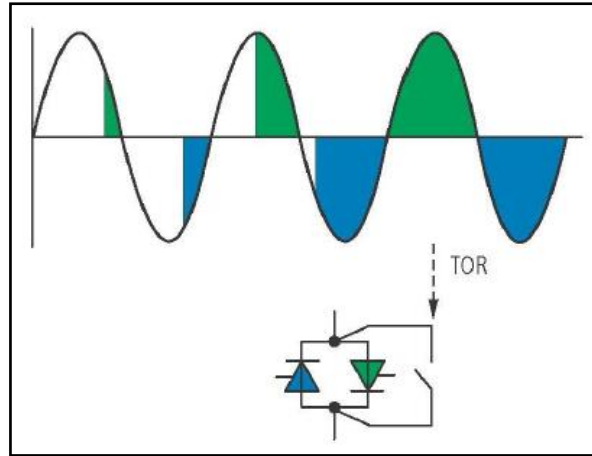


Figura 31. Control de la tensión por ángulo de fase y contacto de bypass.

El tiempo de aceleración de una unidad con un arrancador suave es el resultado de la configuración de la tensión de arranque (U_{start}) y el tiempo de rampa (T_{start}) Para el aumento lineal hasta la tensión completa de red (U_{LN}). La tensión inicial determina el par de arranque del motor. Una alta tensión de arranque y un tiempo de rampa corto corresponde aproximadamente a un arranque directo. En la práctica, el par de arranque necesario (U_{start}) y tiempo de rampa (T_{start}) se configuran de acuerdo a los requisitos del arranque. Ver la Figura 32 [4].

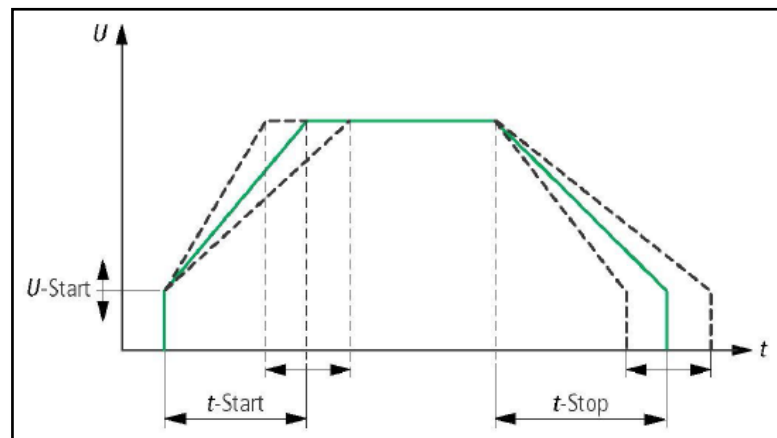


Figura 32. Curva de tensión en un arranque suave.

Si no podemos superar un determinado nivel de corriente, debemos seleccionar un arrancador suave con limitación de intensidad. Esta variante de arranque está con frecuencia estipulada por las compañías de suministro

eléctrico cuando unidades de gran tamaño están conectadas a la red pública. Ver Figura 33 [4].

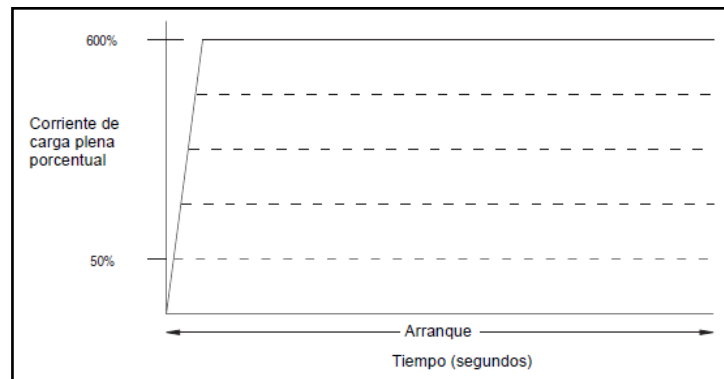
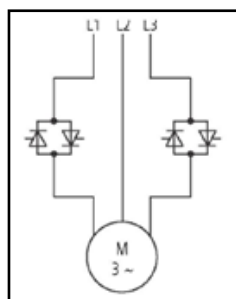


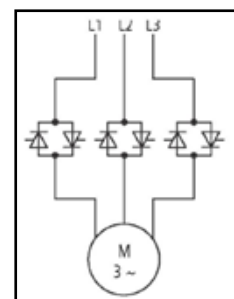
Figura 33. Curva de corriente en un arranque limitación de intensidad.

El dispositivo puede ser utilizado también para obtener una parada suave. Dado que los circuitos del arrancador son electrónicos, es relativamente fácil complementar su función básica con diversas indicaciones de seguridad y fallo con el fin de mejorar la protección del motor y facilitar la localización de averías. Ejemplos de ello son la protección contra los fallos de fase, sobreintensidades y sobrecalentamiento, así como las indicaciones de funcionamiento normal, tensión máxima del motor y de determinados fallos. Todos los ajustes, por ejemplo de la pendiente de rampa y de la tensión inicial, pueden ser efectuados fácilmente desde la parte frontal de la unidad [5].

Hoy en día, en arrancadores suaves, se puede hacer una diferenciación entre dos variantes en la configuración de potencia, en la Figura 34 podemos observar sus características más importantes [4].



a. Dos fases controladas.



b. Tres fases controladas.

Figura 34. Variantes en la configuración de potencia de los arrancadores suaves.

Como consecuencia de todo lo mencionado, el arrancador suave satisface sobradamente el requisito principal, que es conseguir un arranque suave de los motores eléctricos, y ofrece además ventajas adicionales, tales como su alta fiabilidad, su menor necesidad de mantenimiento y su facilidad de ajuste [5].

Sin embargo, una limitación del arrancador suave es que no siempre es posible utilizarlo para aplicaciones de accionamiento que requieren desde el principio un par elevado del motor. Esta limitación procede, de que el dispositivo realiza su trabajo elevando la tensión del motor hasta su valor máximo (y durante la parada, reduciéndolo hasta el nivel de interrupción prefijado). Dado que el par es proporcional al cuadrado de la tensión, el motor conectado no podrá alcanzar el par máximo desde el principio. Por eso el arrancador suave es más apropiado para motores que se arrancan de forma fácil y ligera, por ejemplo, los motores de bombas, ventiladores, transportadores y ascensores [5].

1.4.1.4. Convertidor de frecuencia.

El convertidor de frecuencia es técnicamente superior a las dos soluciones anteriores, ya que permite controlar con precisión todas las variables pertinentes, es decir, la velocidad, el par y la potencia, durante todas las fases del ciclo de funcionamiento del motor, desde la puesta en marcha hasta la parada, pasando por el funcionamiento normal [5].

En comparación con las soluciones anteriormente descritas, los convertidores de frecuencia parecen ser la solución más costosa a primera vista. El mayor coste de adquisición y las medidas adicionales sobre la instalación (cables blindados y filtro RFI para la compatibilidad electromagnética, EMC) son las principales razones [4].

Pero durante una operación a largo plazo, el arranque suave del motor, además de la eficiencia energética y la optimización de procesos, muestra beneficios económicos. Esto es especialmente cierto para bombas y ventiladores. Por la adecuación de la velocidad de rotación del proceso de producción y la compensación de interferencias externas, el convertidor de frecuencia garantiza una vida útil más larga y una mejor seguridad funcional [4].

Otras ventajas de los convertidores de frecuencia incluyen la estabilidad a altas velocidades con fluctuaciones en la carga (fluctuaciones por debajo de un 1%) y la opción de cambio en el sentido de giro. A medida que se genera el campo de rotación del convertidor de frecuencia, un simple comando de

control es todo lo que se requiere para cambiar la secuencia de fases y la dirección de giro del motor. La protección electrónica del motor integrada en los convertidores de frecuencia también asegura un funcionamiento sin la necesidad de medidas adicionales de seguridad (relés de sobrecarga). Dependiendo del método de aplicación, parametrizar los rangos de temperatura en el convertidor de frecuencia proporcionan un mayor nivel de protección térmica del motor. La completa protección del motor también es posible en combinación con termistores. La detección de sobrecarga y subcarga también pueden mejorar la seguridad operacional de la unidad [4].

El convertidor de frecuencia funciona como un convertidor de energía de la alimentación de un motor. El convertidor obtiene la potencia activa desde la red eléctrica a través del rectificador y suministra al motor potencia activa y reactiva a través del inversor. La potencia reactiva necesaria para el funcionamiento del motor es proporcionada por los condensadores del circuito intermedio. En cuanto a la red eléctrica se refiere, el convertidor de frecuencia se comporta prácticamente como una carga resistiva ($\cos \varphi \sim 1$) [4].

Otra importante ventaja es que el equipo de control es estático, es decir, no tiene partes móviles. La fiabilidad es por lo tanto alta y las necesidades de mantenimiento son pequeñas. Sin embargo, el convertidor de frecuencia tiene la desventaja de que necesita una gran inversión inicial, lo cual lo descarta para muchas aplicaciones, especialmente para aquellas en que no es estrictamente necesario el control regulador durante el funcionamiento normal [5].

Pero a pesar de ello, los convertidores de frecuencia han ganado terreno, ya que se ha perfeccionado la tecnología y han bajado los precios. En la actualidad han sustituido prácticamente al motor de anillos rozantes [5].

1.4.2. Principio de funcionamiento del arrancador suave.

Un arrancador suave basa su principio de funcionamiento en el comportamiento de un dispositivo de electrónica de potencia denominado rectificador controlado de silicio o SCR, este dispositivo en conjunto con otros componentes electrónicos y técnicas de control basada en algoritmos con microprocesadores conforman un equipo diseñado para contribuir a la solución del problema del arranque brusco de los motores eléctricos de inducción [6].

1.4.2.1. Rectificador controlado de silicio o SCR.

El SCR pertenece a los Tiristores que es el nombre genérico de una familia de dispositivos semiconductores de silicio, que tienen características de interruptor, presentando dos estados definidos de operación. En estos dispositivos la conmutación se efectúa por un mecanismo interno de realimentación regenerativa. La constitución interna de un tiristor está basada en una estructura semiconductor de cuatro capas (PNPN) cuyo número de terminales pueden ser dos, tres o cuatro según el dispositivo físico considerado [6].

El SCR y el TRIAC son los dispositivos más importantes de la familia de los tiristores y representan la contribución de la electrónica a los sistemas industriales de potencia. Otros dispositivos como el PUT, BDS, SUS, SBS, SCS, LASCR, LASCs, LAPUT, etc., son tiristores ampliamente utilizados en numerosos circuitos de aplicación industrial, militar, aeroespacial, médica, comercial, etc. [6].

En la actualidad, se fabrican SCR con capacidad de conducción de corriente desde 0.25 A hasta unos 2000 A (RMS) para operar con tensiones hasta unos 2600 V. Para tensiones y corrientes de carga mayores se dispone de unidades especiales formadas por SCR en conexión serie y paralelo [6].

1.4.2.1.1. Encapsulados del SCR.

El encapsulado forma parte integral e importante de un SCR, ya que debe presentar buenas propiedades térmicas y bajas pérdidas por efecto de fugas internas y superficiales; se construyen SCR con encapsulado plástico y metálico [6].

En general, la forma física y dimensiones de los dispositivos semiconductores son propias de cada fabricante. Sin embargo, existen entidades de carácter internacional que buscan la unificación de criterios, tratando de estandarizar lo concerniente a esos aspectos. La JEDEC, por ejemplo, ha normalizado la forma física y dimensiones para dispositivos semiconductores, siendo adoptadas por la gran mayoría de fabricantes de esos dispositivos. Las formas ilustradas en la Figura 35 corresponden a especificaciones JEDEC [6].



Figura 35. Encapsulados según la JEDEC.

Las unidades de plástico se construyen para aplicaciones de baja potencia donde no se requiere normalmente el empleo de disipador térmico para eliminar el calor generado en las uniones. En cambio, para aplicaciones de más alta corriente, se prefieren los encapsulados metálicos, siendo contruidos de manera que facilitan el montaje del dispositivo sobre disipadores térmicos [6].

1.4.3. Arrancador suave SMC FLEX Allen Bradley usado en el molino CFS.

El arrancador SMC FLEX ofrece un diseño modular para la instalación y puesta en servicio. Con pantalla LCD incorporada y comunicaciones flexibles que proporcionan rendimiento, diagnósticos y protección de avanzada, ver Figura 36 [7].

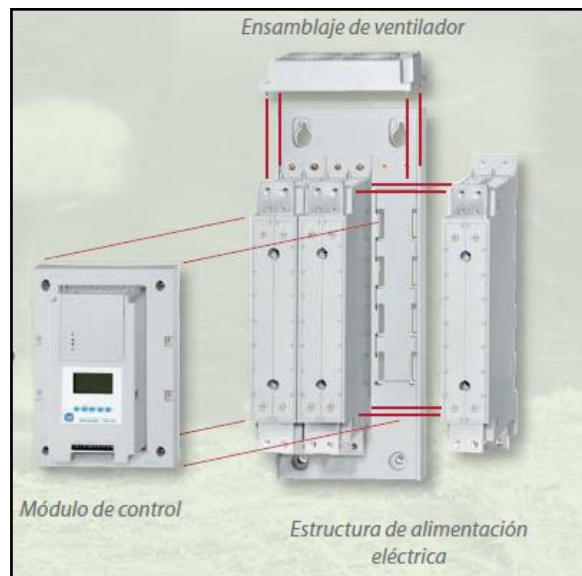


Figura 36. Modularidad del arrancador suave SMC FLEX.

1.4.3.1. Características de diseño y construcción.

A continuación se describen las características de diseño y construcción más importantes.

1.4.3.1.1. Facilidad de mantenimiento.

Esta característica se debe principalmente a la modularidad del producto, es decir las partes del equipo se pueden ensamblar y retirar fácilmente se destaca [7]:

- Estructura de alimentación eléctrica modular.
- Módulo de control extraíble.
- Ensamble de ventilador cambiable.

1.4.3.1.2. Monitoreo y diagnóstico avanzado.

La protección de voltaje y corriente incorporada proporciona capacidades de diagnóstico y de monitoreo de alimentación eléctrica con características mejorada Se destaca [7]:

- No se requiere equipo de monitoreo adicional.
- Entrada de PTC.
- Detección de fallo a tierra.

1.4.3.1.3. Configuración de aplicación simplificada.

El equipo dispone de una pantalla LCD, multilingüe, con luz de retroalimentación, incorporada para programación y monitoreo se destaca [7]:

- Eficiencia de configuración.
- Optimización de procesos.

1.4.3.1.4. Derivación integral.

La derivación o contactores de bypass se cierran automáticamente cuando el motor llega a su velocidad nominal, lo que minimiza la generación de calor se destaca [7]:

- Menor tamaño del envoltente.
- Menor costo total.

1.4.3.1.5. Comunicaciones.

Los módulos de comunicación opcionales permiten conectar el SMC FLEX a múltiples redes se destaca [7]:

- Los módulos DPI comunes reducen el inventario.
- Ethernet/IP, DeviceNet, ControlNet y otras redes disponibles.

1.4.3.2. Componentes principales del arrancador suave SMC FLEX Allen Bradley.

Los componentes principales del arrancador suave SMC FLEX son, los módulos de potencia, el módulo de control, los ventiladores y la base, a continuación se describen las funciones principales de cada uno de ellos

1.4.3.2.1. Módulos de potencia.

Son tres los módulos de potencia que conforman al arrancador suave, cada módulo corresponde a una de las fases de la alimentación eléctrica trifásica. En la Figura 37 se muestra el interior de uno de ellos.

Los módulos de potencia están conformados por los siguientes elementos:

1.4.3.2.1.1. Contactor de bypass o derivación.

Este componente tiene la función de cortocircuitar a través de unas pequeñas barras de cobre a los tiristores o SCR una vez el motor eléctrico ha alcanzado su velocidad nominal de operación, esto con el objetivo evitar el recalentamiento de estos y así aumentarle su vida útil. Ver la Figura 37.

1.4.3.2.1.2. Tiristores de potencia o SCRs.

Son componente de electrónica de potencia con la función de controlar el voltaje y par de salida hacia el motor eléctrico, modificando las características en el arranque. Ver la Figura 37.

1.4.3.2.1.3. Transformador de corriente.

Este componente tiene la función de suministrar a módulo de control una muestra equivalente a la corriente que circula hacia el motor eléctrico en un nivel inferior y adecuado para este propósito. La corriente que puede consumir el motor eléctrico alcanza un valor entre un rango de 90 a 1000

amperios, el transformador la convierte en un equivalente entre 0 y 1 amperio. Ver la Figura 37.

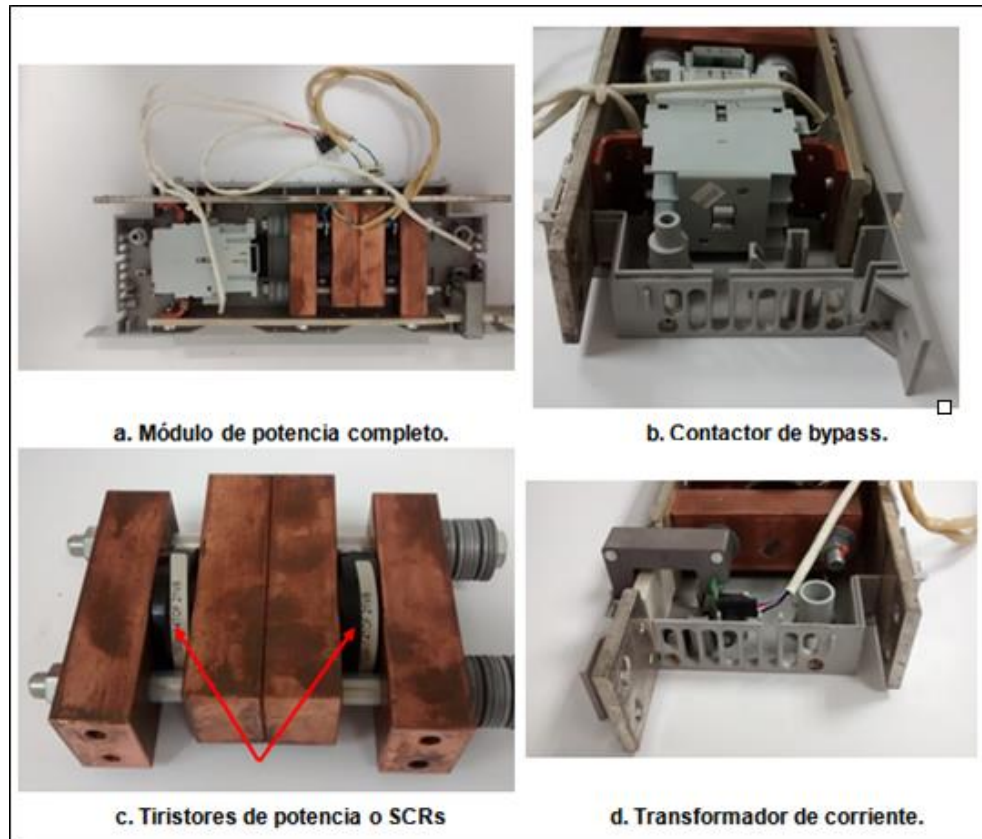


Figura 37. Vista interna de un módulo de potencia.

1.4.3.2.2. Módulo de control.

Este componente dispone de una pantalla LCD a través de la cual se modifican los diferentes parámetros de control y visualizan los eventos de fallos cuando se presentan, además dispone de la electrónica necesaria para controlar el voltaje y par de salida hacia el motor eléctrico. Ver Figura 38.



Figura 38. Módulo de control.

1.4.3.2.3. Ventiladores.

Los ventiladores tienen la función de extraer y disipar el calor que se genera al interior de los módulos de potencia. Ver Figura 39.



Figura 39. Ventiladores.

1.4.3.2.4. Bornes de conexión.

Son los diferentes puntos donde se realizan las conexiones eléctricas de control y potencia en el arrancador suave. Ver Figura 40.

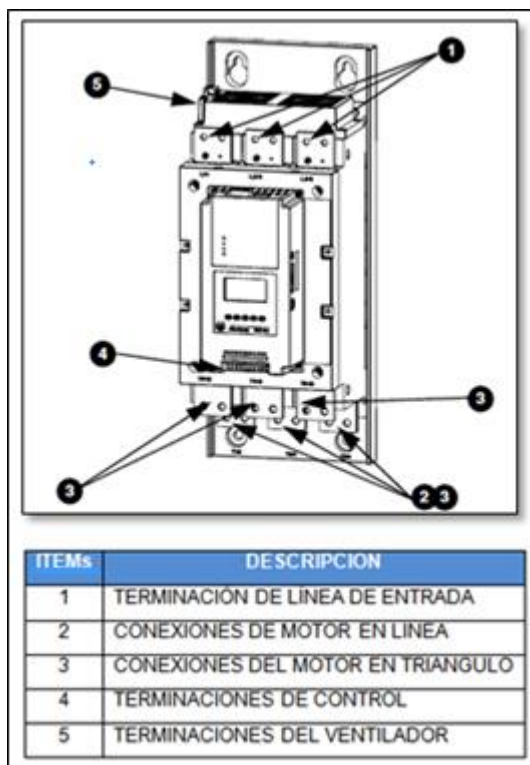


Figura 40. Ubicación y descripción de los terminales de cableado.

1.4.3.3. Operación arrancador suave SMC FLEX Allen Bradley.

El controlador SMC-Flex puede operar motores de inducción de jaula de ardilla estándar con capacidad nominal de 1...1250 A o motores tipo estrella-triángulo con capacidad nominal de 1.8...1600 A; hasta 690 VCA, 50/60 Hz. Dependiendo del tipo de controlador pedido, la entrada de potencia de control puede ser de 100...240 VCA a 24 VCA/CC [8].

1.4.3.3.1. Conexión en línea.

El SMC-Flex está programado de manera predeterminada para conectarse al motor controlado en línea como se muestra en la Figura 41. Estos motores normalmente tienen 3 conductores y deben tener una clasificación de 1...1250 amperios. Puede añadirse un contactor de aislamiento opcional al circuito para proporcionar aislamiento galvánico del motor y una desconexión electromecánica final de la alimentación eléctrica [8].

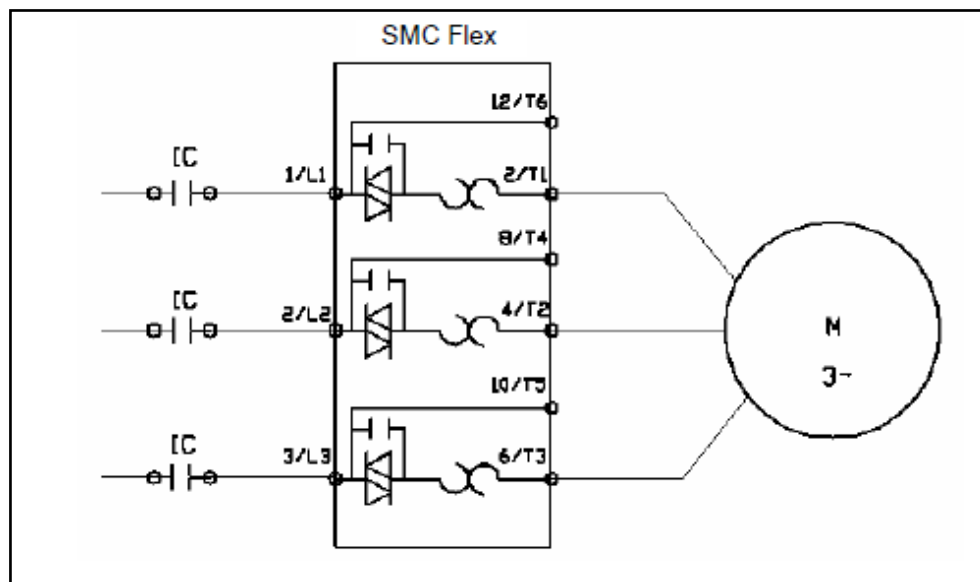


Figura 41. Conexión en línea.

1.4.3.3.2. Conexión en triángulo o delta.

El SMC-Flex puede programarse y conectarse al motor controlado tipo triángulo como se muestra en la Figura 42. Estos motores normalmente tienen 6 o 12 conductores y deben tener una clasificación entre 1.8...1600 amperios. Se recomienda añadir un contactor de aislamiento al circuito para

proporcionar aislamiento galvánico del motor y una desconexión electromecánica final de la alimentación eléctrica [8].

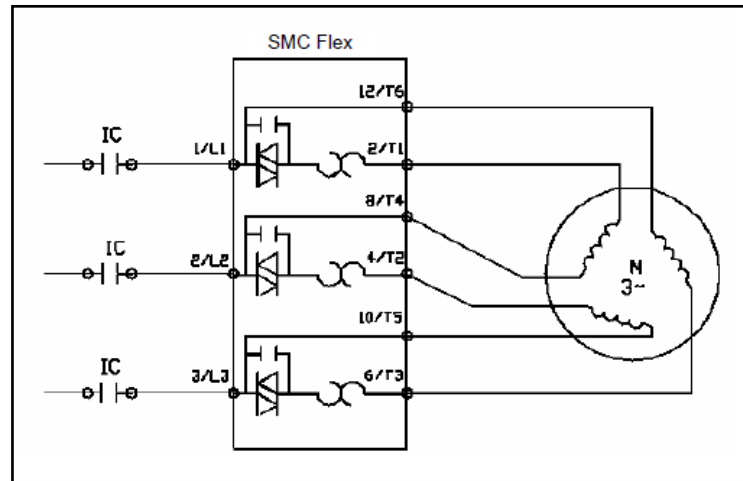


Figura 42. Conexión en triángulo o delta.

Este tipo de conexión es el que actualmente se utiliza en el molino CFS. Su principal ventaja radica en que el arrancador suave puede controlar una carga con un nivel de corriente de línea y potencia máxima incrementa en un factor de ($\sqrt{3}$), en comparación a la configuración en línea. Ver Figura 43.

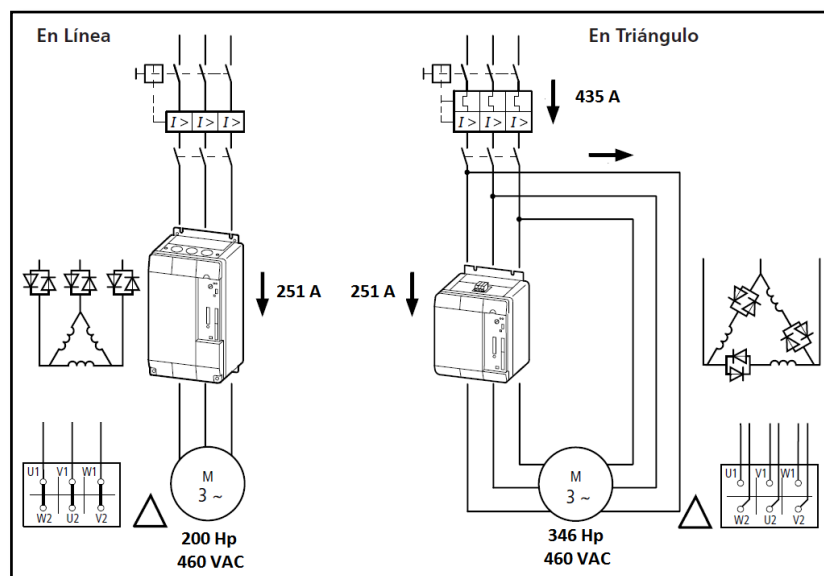


Figura 43. Diferencia entre la conexión en línea y la conexión en triángulo.

1.4.3.4. Selección y explicación del número de catálogo del fabricante para el arrancador suave SMC FLEX Allen Bradley.

A continuación se realiza una explicación del número de catálogo del arrancador suave SMC Flex utilizado en la empresa Alimentos Cárnicos, el cual dispone de la siguiente referencia: CAT 150-F251NBD Serie B.

La Figura 44 descompone el código de catálogo en diversas letras que se adicionan o se la omiten a la referencia cuando se va a realizar su pedido al proveedor de la marca Allen Bradley, cada letra tiene un significado y características para la operación del equipo seleccionado [9].

150	–	F135	F	B	D	B	–	8L
<i>a</i>		<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>		<i>g</i>

Figura 44. Descomposición en letras del código de catálogo.

La letra “a”, ver Figura 45, hace referencia al número de boletín al que hace parte el equipo, para este caso el arrancador suave pertenece al boletín “150” de los controladores de estado sólido, en otras palabras cada gama de componentes maneja sus propios boletines con los cuales manejan toda la información relacionada a ellos [9].

<i>a</i>	
Número de boletín	
Código	Descripción
150	Controlador de estado sólido

Figura 45. Significado de la letra “a”.

La letra “b”, ver Figura 46, hace referencia a los niveles nominales de corriente (unidad amperios, A) y tensión de línea (unidad voltios, VAC); en que puede operar el equipo para entregar la potencia (unidad caballos de fuerza, Hp) de placa [9].

b

Clasificaciones de controladores	
Código	Descripción
F5	5 A, 3 Hp a 460 VCA
F25	25 A, 15 Hp a 460 VCA
F43	43 A, 30 Hp a 460 VCA
F60	60 A, 40 Hp a 460 VCA
F85	85 A, 60 Hp a 460 VCA
F108	108 A, 75 Hp a 460 VCA
F135	135 A, 100 Hp a 460 VCA
F201	201 A, 150 Hp a 460 VCA
F251	251 A, 200 Hp a 460 VCA
F317	317 A, 250 Hp a 460 VCA
F361	361 A, 300 Hp a 460 VCA
F480	480 A, 400 Hp a 460 VCA
F625	625 A, 500 Hp a 460 VCA
F780	780 A, 600 Hp a 460 VCA
F970	970 A, 800 Hp a 460 VCA
F1250	1250 A, 1000 Hp a 460 VCA

Figura 46. Significado de la letra “b”.

La letra “**c**”, ver Figura 47 hace referencia si el equipo viene abierto, es decir, para ser instalado dentro de un de un envolvente (cofre eléctrico); o el fabricante del equipo lo suministra con este, garantizado características de protección contra filtrado de agua y partículas sólidas IP65 [9].

c

Tipo de envolvente	
Código	Descripción
F	NEMA 4/12 (IP65) (sólo no combinado)
N	Abierto

Figura 47. Significado de la letra “c”.

La letra “**d**”, ver Figura 48, hace referencia al rango en el nivel de tensión de línea de entrada al cual el equipo puede operar [9].

<i>d</i>	
Voltaje de línea de entrada	
Tipo abierto	
Código	Descripción
B	200...460 VCA, trifásico, 50 y 60 Hz
C	200...575 VCA, trifásico, 50 y 60 Hz
Z	230...690 VCA, trifásico, 50 y 60 Hz (sólo abierto)
Solo en envoltorio no combinado	
H	200...208 VCA, trifásico, 50 y 60 Hz
A	230 VCA, trifásico, 50 y 60 Hz
B	400...460 VCA, trifásico, 50 y 60 Hz
C	500...575 VCA, trifásico, 50 y 60 Hz

Figura 48. Significado de la letra “d”.

La letra “e”, ver Figura 49, hace referencia al rango en el nivel de tensión al cual puede ser alimentado la parte de control del equipo, es decir, para su encendido, sus alarmas, señales de entrada y salida, entre otras [9].

<i>e</i>	
Voltaje de control	
Código	Descripción
D	100...240 VCA (unidades de 5...480 A)
R	24 VCA/CC (unidades de 5...480 A) (sólo abierto)
E	...110/120 VCA (unidades de 625...1250 A)
A	...230/240 VCA (unidades de 625...1250 A)

Figura 49. Significado de la letra “e”.

La letra “f”, ver Figura 50, hace referencia si el equipo tiene incorporado para su operación las funciones opcionales del control de bombas o control de frenado la cuales son requeridas para ciertas aplicaciones. En caso de no disponer la referencia de esta letra el equipo viene configurado para una operación estándar [9].

<i>f</i>	
Opciones (seleccione sólo una)	
Código	Descripción
En blanco	Estándar
B	Control de bomba
D	Control de frenado

Figura 50. Significado de la letra “f”.

La letra “**g**”, ver Figura 51, hace referencia si el equipo además del envolvente se le incorpora módulos de protección (Varistores MOV) para su operación. En caso de no disponer la referencia de estas letras el equipo viene sin esos módulos de protección adicional y opcional para ciertas aplicaciones [9].

g	
Opciones (sólo no combinados)	
Código	Descripción
8L	Módulo protector para montaje a la línea (sólo para envolvente)
8M	Módulo protector para montaje a la carga (sólo para envolvente)
8B	Módulos protectores para montaje a la línea y a la carga (sólo para envolvente)
Los varistores MOV del lado de carga no están disponibles con las opciones de frenado y de bomba, ni en motores conectados en triángulo. Los varistores MOV pueden instalarse en el campo en unidades de tipo abierto. Consulte en la página 30 la lista de opciones disponibles.	

Figura 51. Significado de la letra “g”.

Otros datos característicos como la temperatura de operación del arrancador suave se observan en la Figura 52.

Especificaciones ambientales	
Rango de temperaturas de funcionamiento	--5...50 °C (23...122 °F) (abierto) --5...40 °C (23...104 °F) (para envolvente)
Rango de temperaturas de almacenamiento y transporte	-20...+75 °C
Altitud	2000 m (6560 pies)
Humedad	5...95% (sin condensación)
Grado de contaminación	2

Figura 52. Temperatura de operación del arrancador suave.

En resumen el arrancador suave CAT 150-F251NBD es un equipo capaz de operar con las siguientes condiciones de operación:

- Rango en el nivel de tensión de línea de entrada entre **200 y 480 VAC a 60Hz**.
- Configuración triángulo o delta, lo que le permite manejar un motor eléctrico con una corriente máxima de línea de **435 A y 346 Hp (o 258 kW)**.
- Rango en el nivel de tensión entre **100 y 240 VAC a 60Hz**, para la alimentación del control.
- Relación entre la capacidad del motor (185Kw) y la capacidad del arrancador (258Kw) de **0.72**

CAPÍTULO II METODOLOGÍA.

Este proyecto consiste en un análisis de las condiciones de operación que afectan la vida útil del arrancador suave referencia CAT 150-F251NBD SMC FLEX Allen Bradley el cual controla el funcionamiento del motor eléctrico en el molino CFS, este molino es parte fundamental en el proceso productivo de la empresa Alimentos cárnicos S.A.S. Sede barranquilla.

La metodología a seguir para el desarrollo de este proyecto se define de la siguiente manera:

2.1. Análisis de la calidad en la energía eléctrica.

Para evidenciar cómo se encuentran los parámetros eléctricos y determinar si afectan la vida útil del arrancador suave se realizaron mediciones de calidad de energía entre los días 03-07-2014 a las 12:55 P.M. y el día 08-07-2014 a las 09:59 A.M. Este tiempo de medición seleccionado consideró los periodos productivos del proceso industrial del equipo y la disponibilidad del equipo de medida. Con base a los resultados de las mediciones se realiza el análisis del comportamiento de las variables eléctricas: tensión, corrientes, potencias, frecuencia y factor de potencia.

2.1.1. Instalación del equipo y registro de las mediciones.

Para la ejecución de las mediciones se empleó un equipo analizador de redes digitales marca DRANETZ-BMI referencia Power Visa, el cual registra componentes armónicas con frecuencias de hasta cincuenta (50) veces la frecuencia fundamental (3000Hz), equipado con ocho (8) canales de entrada: cuatro (4) para voltajes y cuatro para corrientes. Permite además medir todos los parámetros de interés en un circuito eléctrico, tales como voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencias (aparente, activa y reactiva), entre otros. El equipo cuenta con sistema de memoria que permite el manejo y almacenamiento de la información para luego ser transmitida a un computador personal para su procesamiento y análisis.

El punto de interés seleccionado para realizar las mediciones fue el interruptor principal o breaker que alimenta al tablero eléctrico del molino CFS, la Figura 53 muestra el equipo instalado en el lugar.

Las mediciones se realizaron con un intervalo de registro de cada minuto entre lecturas, el motivo principal fue las características de operación del molino, ya que tiene una operación discontinua y por breves periodos de tiempo generalmente de 10 minutos en promedio.



Figura 53. Instalación del equipo de medición.

2.1.2. Directrices generales respecto a continuidad y calidad de la energía en Colombia.

En Colombia las directrices sobre calidad de la energía eléctrica están enmarcadas dentro de las leyes 142 de 1994, 143 de 1994 y demás disposiciones regulatorias de la comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG [10].

Respecto a aspectos de ausencia del suministro de electricidad (fallas), la **Ley 142 de 1994**: Ley de servicios públicos domiciliarios establece mediante el Art. 136, el concepto de falla en la prestación del servicio, como el incumplimiento por parte de la empresa en la prestación continua de un servicio de buena calidad en el contrato de servicio público. Los Art. 138, 139 y 140 de la misma ley establecen los lineamientos de suspensión de común acuerdo, suspensión en interés del servicio y suspensión por incumplimiento. Por otra parte el Art. 87, Numeral 87.8 de la Ley 142 de 1994 establece que toda tarifa tendrá un carácter integral, en el sentido de que supondrá una calidad y grado de cobertura del servicio [10].

La ley 143 de 1994: ley eléctrica establece en el Art. 23 Lit. g) definir, con base en criterios técnicos, las condiciones que deben reunir los usuarios regulados y no-regulados del servicio de electricidad, el Lit. n) definir y hacer operativos los criterios técnicos de calidad, confiabilidad y seguridad del servicio de energía y Lit. p) definir mediante arbitraje los conflictos que se presente entre los diferentes agentes económicos que participen en las actividades del sector en cuanto en cuanto a interpretación de los acuerdos operativos y comerciales [10].

La **Res CREG 070 de 1998** en su Numeral 6.2 establece los principales lineamientos respecto a calidad de potencia y respecto al tema de desviaciones en frecuencia el Código de redes **Res CREG 025 de 1995** establece parámetros de frecuencia [11].

Complementariamente en el tema de las perturbaciones en el suministro de electricidad, la **Res CREG 024 de 2005** establece normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de distribución de energía eléctrica y mediante **Res CREG 016 de 2007** se modifica el reglamento de distribución de energía eléctrica **Res CREG 070 de 1998** – en lo concerniente a plazos para corregir las deficiencias en la calidad de la potencia suministrada y límites de Flicker entre otros [12] [13].

Respecto a otros aspectos como consumo de reactivos el Numeral 4.2.4 del anexo general de distribución de energía eléctrica - **Res CREG 070 de 1998** establece los mecanismos de compensación de consumos de energía reactiva, donde el factor de potencia de la carga conectada por el usuario, no deberá ser inferior al establecido en la resolución **CREG 108 de 1997** [11].

2.1.3. Valores de referencia adoptados para el estudio eléctrico.

2.1.3.1. Variación de tensión de estado estable.

La Res CREG 096 de 2000 (que modifica la CREG 070 de 1998) establece que son las tensiones en estado estacionario a 60Hz y sus variaciones permisibles, son las establecidas en la norma NTC 1340, o aquella que la modifique o sustituya [14].

La variación permitida para el nivel de tensión de 440VAC de acuerdo con la norma técnica NTC 1340 es de +5% y -10%.

La variación de tensión se define como:

$$\Delta V_K(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100$$

Ecuación 1. Cálculo de la variación de tensión.

Donde

ΔV_K : Variación de tensión, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_K : Tensión eficaz (*rms*) medida en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n : Tensión nominal en el punto de medición.

2.1.3.2. Frecuencia.

La Res CREG 096 de 2000 establece que la frecuencia nominal del SIN y su rango de variación de operación son establecidas en el código de operación incluido en el código de redes (Resolución CREG 025 de 1995 y aquellas que la modifiquen, complementen o sustituya). Los operadores de redes no son agentes responsables por el control de la frecuencia en el SIN [14].

De acuerdo con la Resolución CREG 025 de 1995 numeral 5.1 la frecuencia objetivo del SIN es 60.0Hz y su rango de variación este entre 59.80 y 60.20, excepto en estados de emergencia, fallas, déficit energético y periodos de restablecimiento.

Por otra parte, de acuerdo con la norma NTC 1340 en condiciones normales de suministros, durante el 95% del tiempo dentro de una semana debe estar entre 59.8 y 60.2 Hz y durante el 100% del tiempo dentro de una semana debe estar entre 57.5 y 63 Hz.

2.1.3.3. Factor de potencia.

El factor de potencia es la relación entre la potencia útil (activa) consumida por un circuito o carga y la potencia aparente de éste, la cual corresponde a la máxima potencia que se puede consumir o suministrar a un circuito, dados unos valores eficaces de tensión y corriente. El factor de potencia puede ser inductivo o capacitivo dependiendo de la condición de consumo o suministro de potencia reactiva, en el primer caso el factor de potencia será positivo y en el segundo caso será negativo [10].

El factor de potencia se evalúa tomando la relación entre la potencia activa trifásica y la potencia aparente trifásica y discriminando los casos en que este factor es inductivo o capacitivo. Para el cálculo del factor de potencia se utilizó la Ecuación 2; donde **kW** hace referencia a la potencia activa y **kVAR_{ind}** hace referencia a la potencia reactiva [10].

$$\text{Factor de potencia inductivo } (FP_{ind}) = \frac{kW}{\sqrt{(kW)^2 + (kVAR_{ind})^2}}$$

Ecuación 2. Cálculo de factor de potencia inductivo.

La Res CREG 096 del 2000 establece que el factor de potencia mínimo permisible es el establecido en el artículo 25 de la resolución CREG 108 de 1997 la cual a su vez establece que el factor de potencia inductivo de las instalaciones deberá ser igual o superior a punto noventa (0.9) y establece

que en caso de que la energía reactiva ($kVARh$) sea mayor al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) consumida por un suscriptor o usuario, el exceso sobre este límite se considerara como consumo de energía activa para efectos de determinar el consumo facturable [14].

2.1.3.4. Desbalances de tensión y corriente.

El desbalance en tensión es un evento de estado estable y es frecuentemente encontrado cuando se analiza los índices de calidad de energía en sistemas eléctricos de distribución. En un sistema polifásico, la condición de desbalance en tensión tiene lugar cuando el valor eficaz de las tensiones de las fases o los ángulos entre fases consecutivas no son todos iguales. También el desbalance en tensión o corriente es en algunas veces definido como la máxima desviación del promedio de las tres fases de tensión o de corriente, dividido por el promedio de la tensión o de la corriente de las tres fases, expresado en tanto por ciento.

$$\% \text{ Desbalance de tensión} = \left[\frac{\text{Max} [(VAB - V_{Prom}); (VBC - V_{Prom}); (VCA - V_{Prom})]}{V_{Prom}} \right]$$

Ecuación 3. Cálculo del porcentaje de desbalance de tensión.

En la regulación colombiana no se establece un límite explícito para el indicador de desbalance en tensión, no obstante la norma internacional IEEE 1159 [1995] establece como magnitud típica un rango entre 0.2 y 2%.

Para el caso del desbalance en corriente la norma NTC 5001 establece que bajo condiciones de operación normal, se recomienda que cumpla con los valores objetivos dados a continuación durante el 95% del tiempo:

Tensión > 62kV desbalance en corriente $\leq 5\%$

Tensión $\leq 62kV$ desbalance en corriente $\leq 20\%$

2.2. Análisis de la producción de la planta.

Para evidenciar como se encuentran las variables de la producción de la planta y determinar si afectan la vida útil del arrancador suave se realizó seguimiento al tiempo de operación, número de arranques del equipo y la dosificación de la MPC, desde el día 03-07-2014 a las 12:55 horas hasta el día 08-07-2014 a las 09:59 horas, el mismo periodo de tiempo en el cual se realizaron las mediciones eléctricas.

2.2.1. Tiempo de operación y número de arranques del equipo.

Los datos de tiempo de operación y el número de arranques, se digitan diariamente a un software por el personal del SIP, basado en la información que el operador del molino documenta por cada referencia triturada o molida en planillas donde registra la fecha, la hora de inicio y de fin, cantidades, lotes entre otros datos necesarios para el proceso productivo. Toda esta información puede ser consultada de manera filtrada.

2.2.2. Dosificación de la materia prima cárnica a la tolva del molino.

La dosificación de la materia prima cárnica es una actividad muy importante que el operador principal realiza, esto es debido a que existe MPC que tiene la particularidad de obstruir el molino, razón por la cual debe estar muy atento a la cantidad de material que deposita sobre la tolva y al flujo de evacuación del molino sobre el tornillo transportador cozzini. Se realiza una entrevista con el operador del molino para conocer el método utilizado para ejecutar esta actividad.

2.3. Análisis de la temperatura en el ambiente de operación.

Todos los equipos y componentes electrónicos deben operar en un rango de temperatura el cual el fabricante determina como apropiado para su correcto funcionamiento. Para monitorear la temperatura de operación se instala un instrumento que consta de un bulbo con una PT-100 y un display visualizador en el tablero eléctrico y lo más cercano al arrancador, en la Figura 54 puede verse el montaje de estos dispositivos.

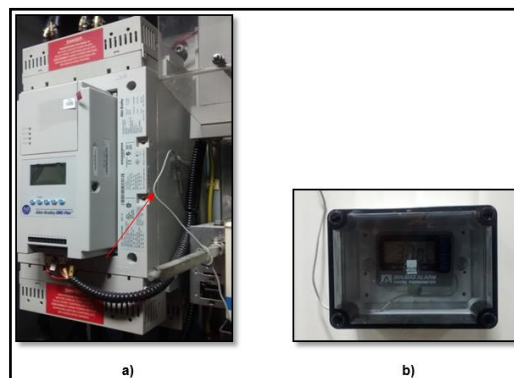


Figura 54. Instrumento de medición de temperatura. a) Bulbo (PT-100). b) Display visualizador.

CAPÍTULO III ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1. Análisis de resultados para calidad de la energía eléctrica.

Teniendo en cuenta los referentes regulatorios y normativos se verifica el cumplimiento de cada uno de los parámetros respecto a sus límites admisibles.

Los resultados de las mediciones se presentan en forma de tablas y gráficas a partir de las cuales se realiza unos análisis descriptivos y estadísticos.

3.1.1. Perfiles de tensión.

De acuerdo con el registro de las tensiones de línea se encontraron valores fuera del rango permitido por la norma técnica NTC 1430, la cual establece que los valores límites admisibles corresponden a un 5% por encima y un 10% por debajo del valor nominal de placa del transformador, cuyo valor es de 460V. En la Figura 55 se observan todos estos valores de referencia previamente mencionados y en general ilustra el comportamiento de los perfiles de tensión analizados durante el periodo de observación del arrancador suave.

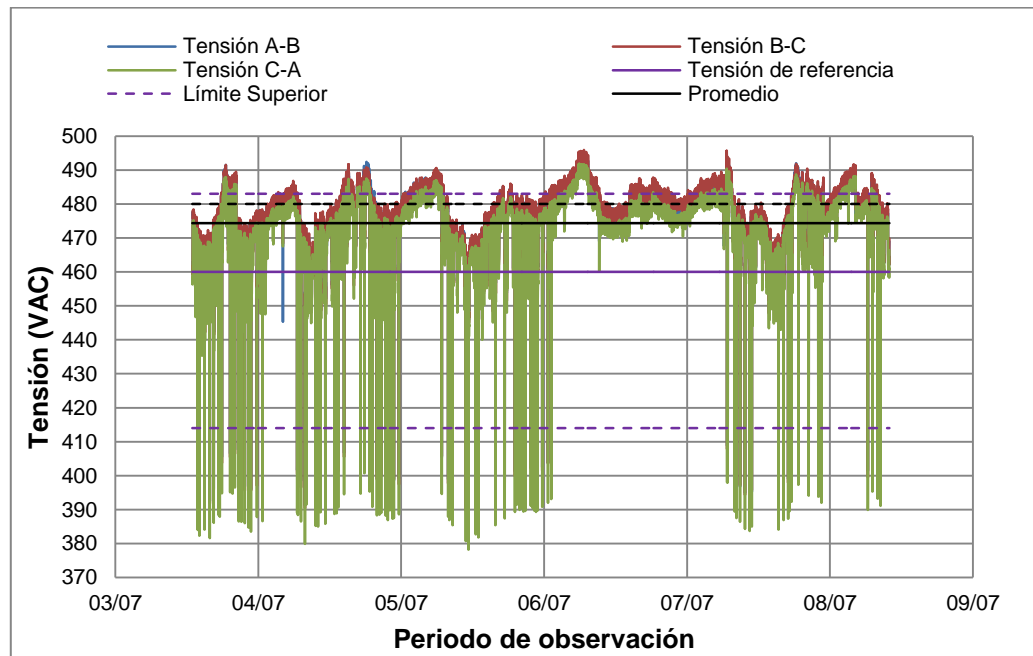


Figura 55. Perfil de tensión registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS.

El porcentaje de tiempo en que las tensiones de línea registradas no se encuentran dentro de los límites especificados, puede variar dependiendo de la fase entre un 12 y un 31% del periodo de observación. En la Tabla 15 se presenta información estadística que resume el comportamiento de los perfiles de tensión registrados.

Tabla 15. Indicadores estadísticos tensiones de línea.

Indicadores estadísticos	Fase A-B	Fase B-C	Fase C-A
Promedios	475,42	475,80	471,81
Mediana	478,60	479,20	475,10
Moda	478,90	482,60	479,00
Desviación estándar	12,75	13,23	13,62
Mínimos	389,60	388,80	378,20
Máximos	494,90	495,90	491,90
Porcentaje de tiempo dentro de los límites +5% y -10% Tensión nominal	73%	69%	88%
Porcentaje de tiempo por debajo del límite inferior (414VAC)	1%	1%	1%
Porcentaje de tiempo por encima del límite superior (483VAC)	26%	30%	11%

La Figura 56 muestra la agrupación de los datos obtenidos del registro de las tensiones de línea en diferentes rangos o clases.

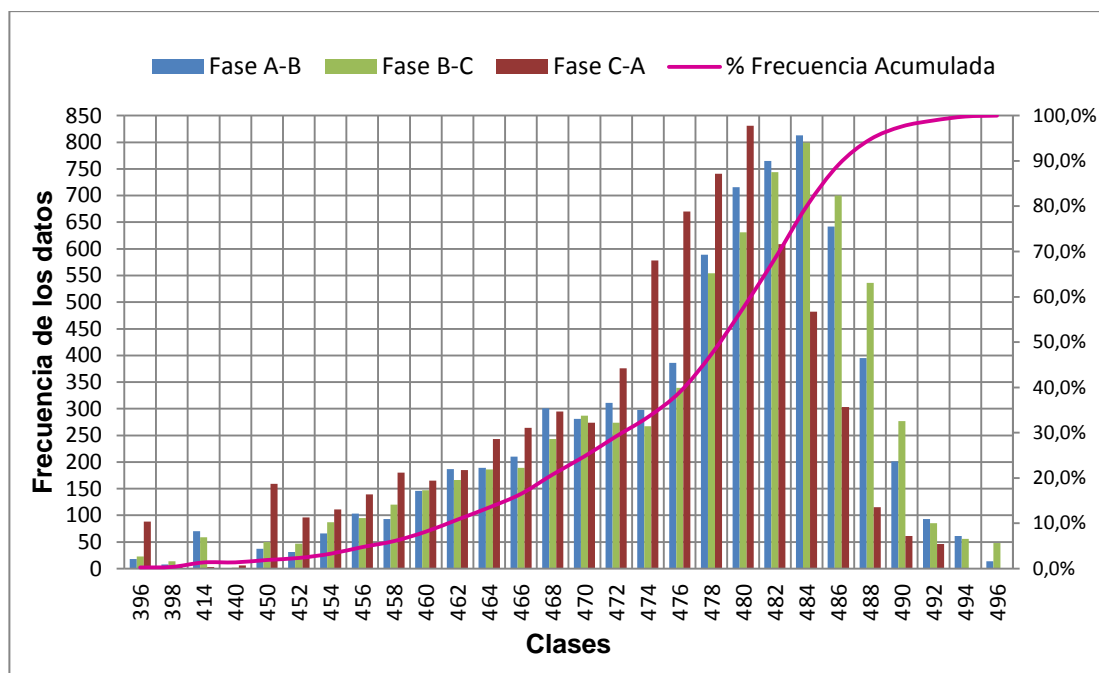


Figura 56. Histograma de los datos registrados para las tensiones de línea.

3.1.2. Perfiles de corrientes.

La Figura 57 muestra el comportamiento de las corrientes de línea durante el periodo de observación, se evidencia que los valores registrados superan en momentos específicos tanto la corriente nominal de placa del motor eléctrico del molino CFS como la del arrancador suave, estos valores corresponden a 265A y 435A respectivamente.

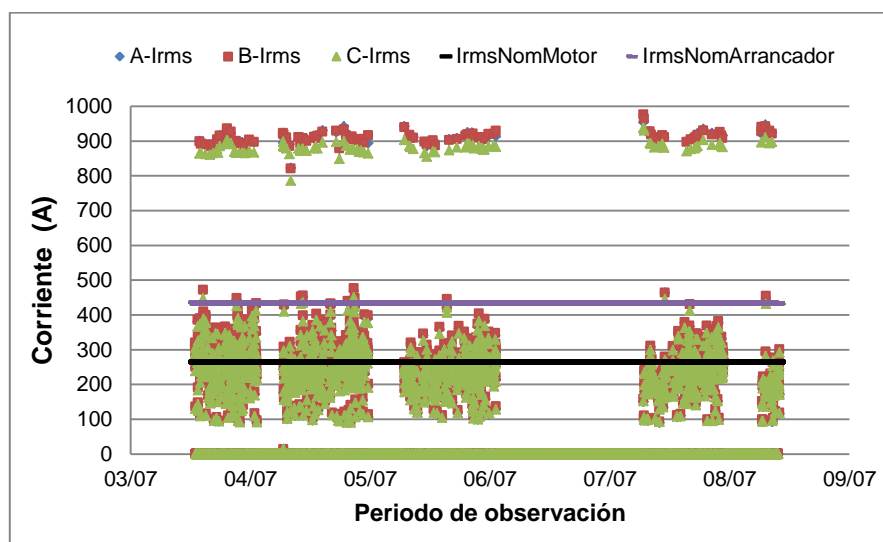


Figura 57. Perfiles de corrientes registrados durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS.

Los porcentajes de tiempo en los cuales el arrancador suave y el motor eléctrico operan podemos verlos resumidos en la Tabla 16.

Tabla 16. Indicadores estadísticos de los datos registrados para las corrientes de línea.

Indicadores estadísticos	A-Irms	B-Irms	C-Irms
Promedios	286,18	291,20	278,04
Moda	295,91	209,20	282,03
Máximos	958,30	977,00	938,00
Porcentaje de tiempo No operando	79,25%	79,25%	79,25%
Porcentaje de tiempo operando con corrientes inferiores o iguales a la nominal del motor eléctrico (265A).	12,51%	11,91%	13,55%
Porcentaje de tiempo operando con corrientes mayores a la nominal del motor eléctrico (265A) y menores o iguales a la nominal del arrancador (435A).	6,75%	7,33%	5,78%
Porcentaje de tiempo operando con corrientes mayores a la nominal del arrancador (435A) y menores a (500A).	0,13%	0,14%	0,06%
Porcentaje de tiempo equipo arrancando u operando con corrientes superiores a los (800A).	1,37%	1,37%	1,37%

3.1.3. Desbalance en tensión y corrientes.

La Figura 58 muestra el comportamiento de los valores calculados para el desbalance en tensión. Estos datos se encuentran el 99,89% del tiempo del periodo de observación dentro del rango de valores típicos establecidos en la IEEE 1159 [1995].

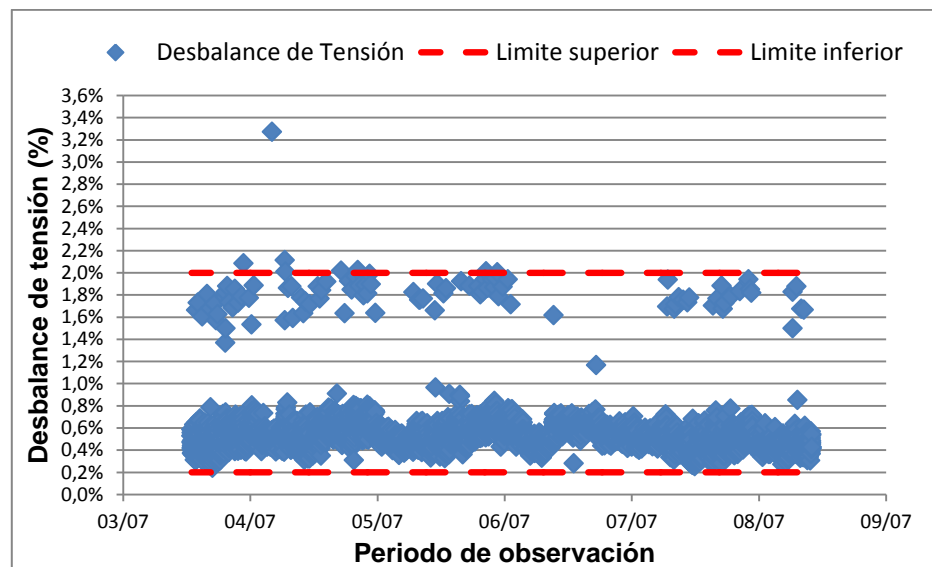


Figura 58. Desbalance en tensión registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS.

La Tabla 17, presenta información estadística que resume el comportamiento del desbalance en tensión calculado.

Tabla 17. Indicadores estadísticos desbalances en tensión.

Indicadores estadísticos	Desbalance de tensión
Promedios	0,54%
Mediana	0,52%
Moda	0,56%
Desviación estándar	0,18%
Mínimos	0,24%
Máximos	3,27%
Porcentaje de tiempo dentro de los límites 0,2 y 2%	99,89%

En la Figura 59, se muestra el comportamiento de los valores calculados para el desbalance en corriente. Estos datos se encuentran el 100% del tiempo del periodo de observación dentro del rango de valores típicos establecidos en la NTC 5001, la cual recomienda en condiciones normales de operación un desbalance inferior al 20%.

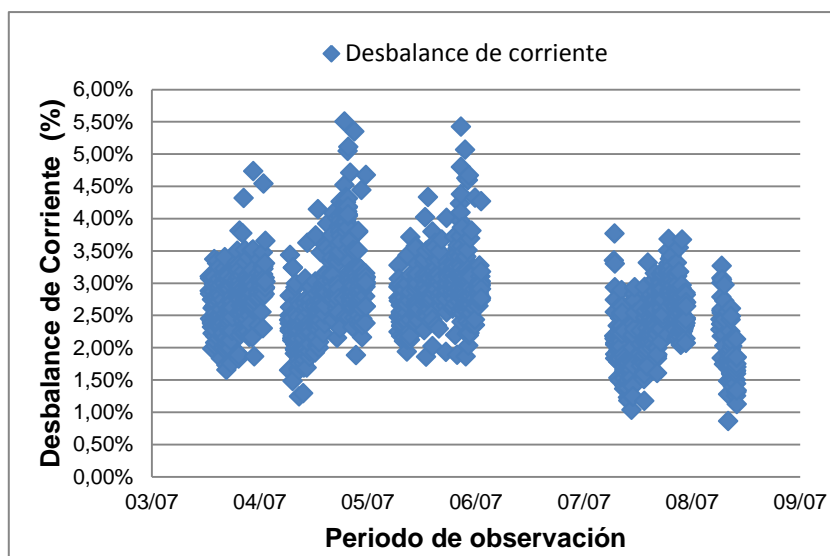


Figura 59. Desbalance en corriente registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS.

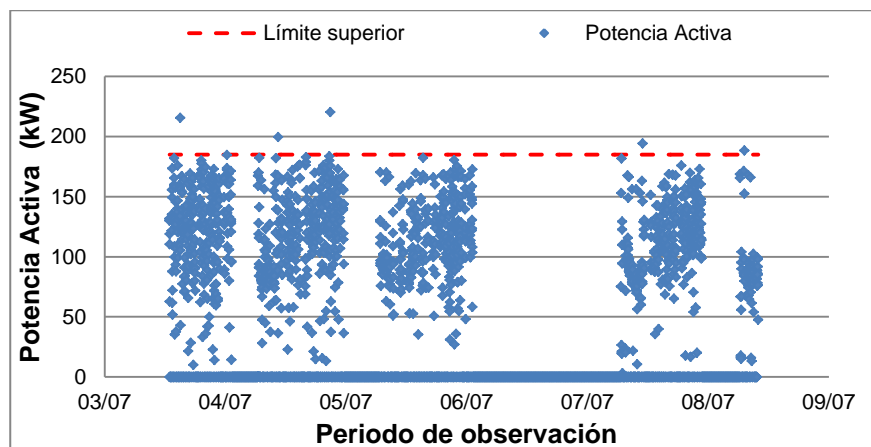
La Tabla 18, presenta información estadística que resume el comportamiento del desbalance en corriente calculado.

Tabla 18. Indicadores estadísticos desbalances en corriente.

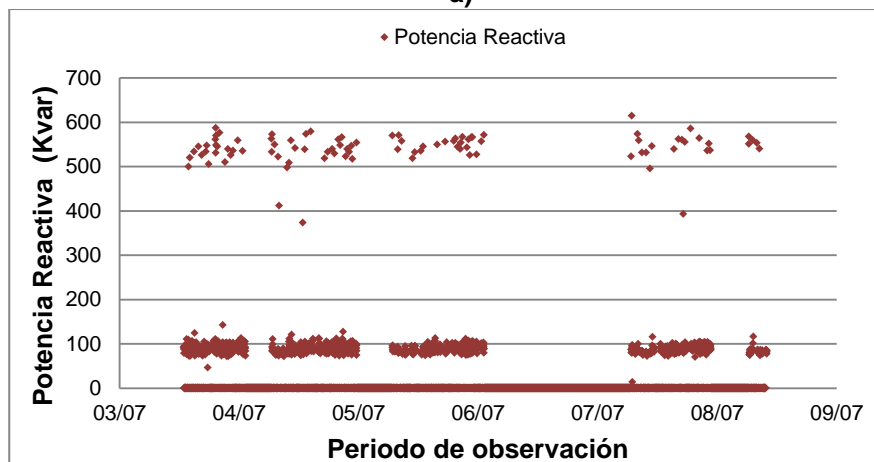
Indicadores estadísticos	Desbalance de corriente
Promedios	2.68%
Mediana	2,70%
Moda	2,16%
Desviación estándar	0,6%
Mínimos	0,86%
Máximos	5.5%
Porcentaje de tiempo dentro de los límites 0 y 20%	100%

3.1.4. Perfiles de potencias.

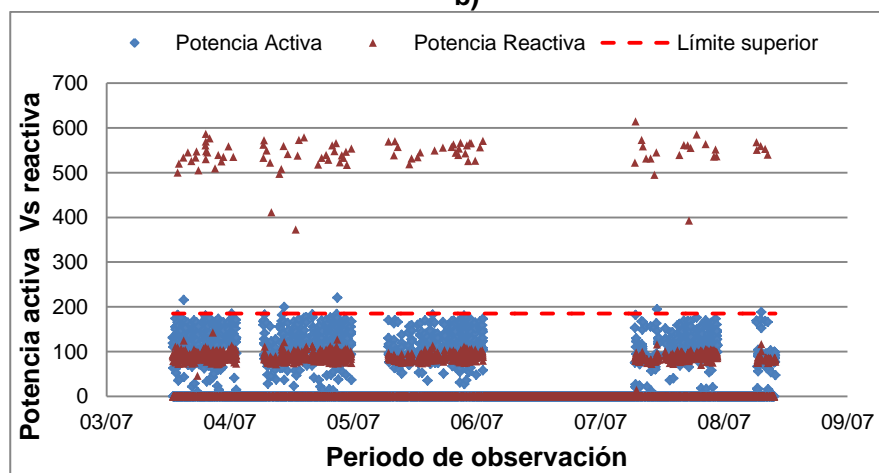
La Figura 60 muestra el comportamiento de los perfiles de potencia durante el periodo de observación. Se evidencia para el caso de la potencia activa que los valores registrados superan en muy pocos casos límite de 185kW, valor que corresponde a la potencia nominal de placa del motor eléctrico del molino CFS. En cuanto a la potencia reactiva se registraron niveles que alcanzaron un pico máximo de 614.5kVAR.



a)



b)



c)

Figura 60. a) Perfil de potencia activa. b) Perfil de potencia reactiva. c) Potencia activa Vs reactiva. Registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS.

En la Tabla 19 se presenta información estadística que resume el comportamiento de los perfiles de potencia registrados.

Tabla 19. Indicadores estadísticos de los datos registrados para las potencias.

Indicadores estadísticos	Potencia activa (kW)	Potencia reactiva (kVAR)
Promedio	112,91	117,92
Mediana	113,82	88,88
Desviación estándar	35,77	112,58
Mínimos	0,37	0,12
Máximos	220,38	614,50

3.1.5. Frecuencia.

La Figura 61 muestra el comportamiento de la frecuencia durante el periodo de observación. Se evidencia que todos los datos registrados se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma NTC 1340.

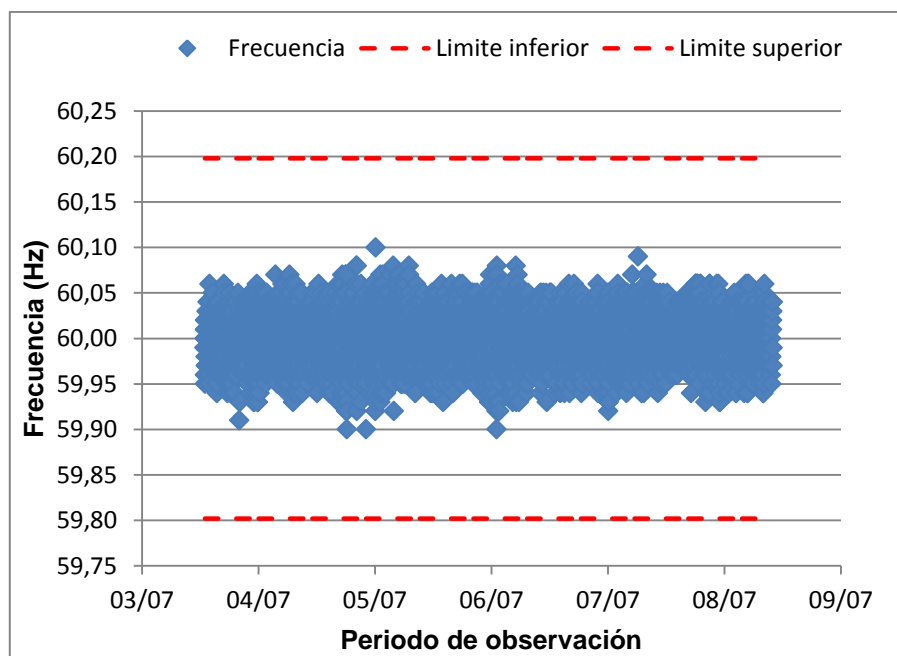


Figura 61. Comportamiento de la frecuencia registrada durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS.

En la Tabla 20 presenta información estadística que resume el comportamiento de la frecuencia.

Tabla 20. Indicadores estadísticos de los datos registrados para la frecuencia.

Indicadores estadísticos	Frecuencia (Hz)
Promedio	60,00
Mediana	60,00
Moda	59,99
Desviación estándar	0,03
Mínimos	59,90
Máximos	60,10
Porcentaje de tiempo dentro de los límites +0,33% y -0,33%	100%

3.1.6. Factor de potencia.

La Figura 62 muestra el comportamiento de factor de potencia durante el periodo de observación. Se evidencia que el 100% del tiempo esta variable se encuentra por debajo del límite inferior, cuyo valor es de 0,9.

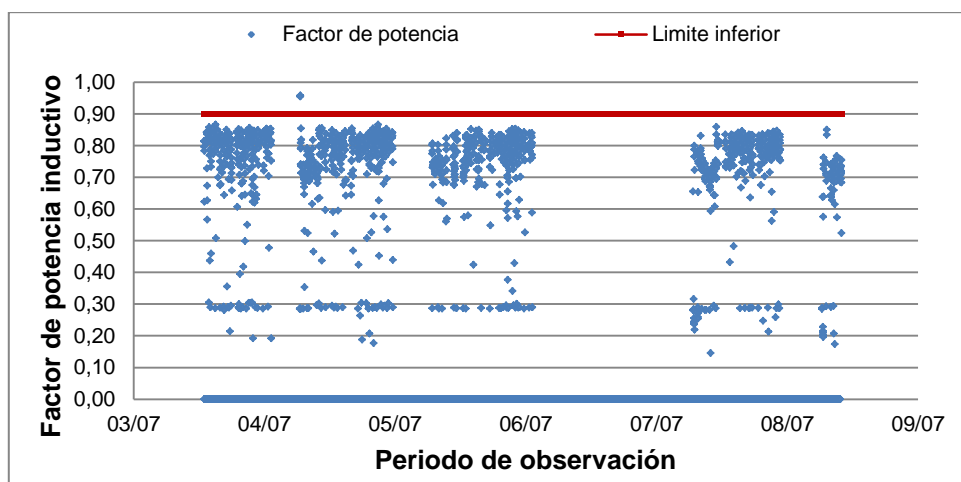


Figura 62. Factor de potencia registrado durante el periodo de observación al arrancador suave del molino CFS.

En la Tabla 21 se presenta información estadística que resume el comportamiento del factor de potencia.

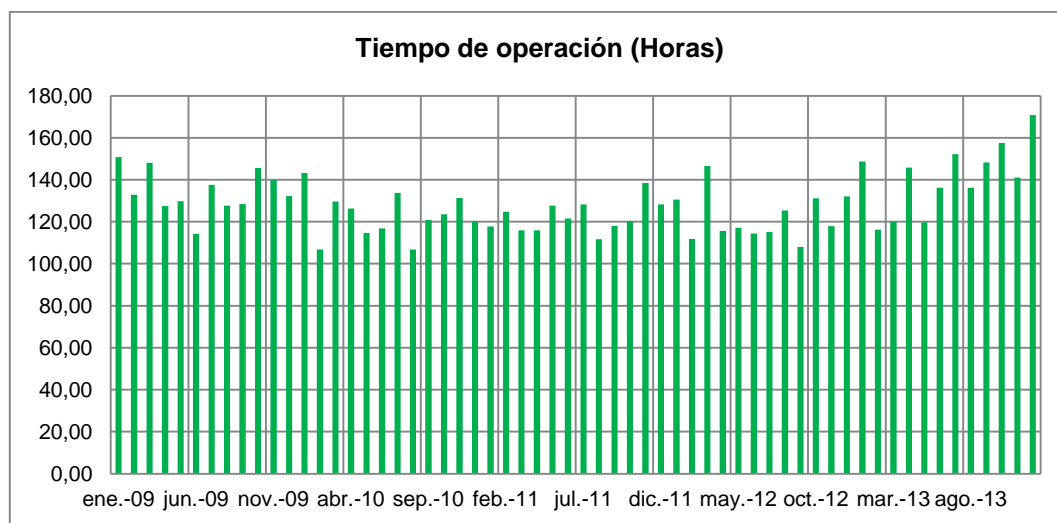
Tabla 21. Indicadores estadísticos de los datos registrados para el factor de potencia.

Indicadores estadísticos	Factor de potencia
Promedio	0,72
Mediana	0,78
Desviación estándar	0,16
Mínimos	0,15
Máximos	0,96
Porcentaje de tiempo dentro de los límites 1 y 0,9	0%

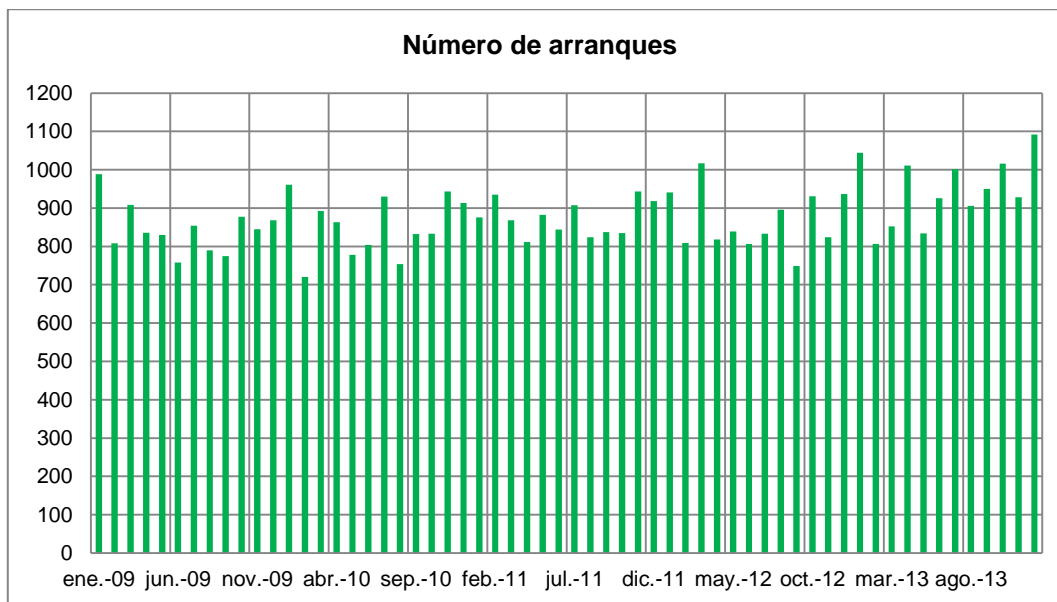
3.2. Análisis de resultados para la producción de la planta.

3.2.1. Tiempo de operación y número de arranques del equipo.

La Figura 63 muestra el comportamiento que han tenido estas variables entre los años 2009 y 2013.



a.



b.

Figura 63. Datos registrados de la operación del equipo de Enero 2009 a diciembre 2013. a) Tiempo de operación. b) Numero de arranques.

La Tabla 22 contiene un resumen por año de los datos registrados de la operación del equipo.

Tabla 22. Resumen tiempo de operación años 2009-2013.

TIEMPO DE OPERACIÓN			
Año	Minutos	Horas	Numero de arranques
2009	96.872	1614,53	10137
2010	88.437	1473,95	10223
2011	88.122	1468,70	10480
2012	87.943	1465,72	10400
2013	101.567	1692,78	11367

3.2.2. Dosificación de la materia prima cárnica a la tolva del molino.

La dosificación se realiza bajo una secuencia basada principalmente en la experiencia del operador donde se va alternando la diferente MPC que contiene la referencia, y de esta manera garantizar un flujo adecuado hacia la tolva del tornillo transportador cozzini. Antes de iniciar la dosificación de la MPC se verifica la temperatura del producto la cual debe permanecer o encontrarse en un rango establecido por el departamento de tecnología y el de calidad; los cuales garantizan las especificaciones del fabricante.

Uno de los eventos de falla que generaría el tipo de MPC y la dosificación de esta sobre el molino, sería la sobrecarga, pero el arrancador suave SMC FLEX tiene protección configurable para este tipo anomalías.

3.3. Análisis de resultados para la temperatura en el ambiente de operación.

La Figura 64 muestra el comportamiento de la temperatura registrada en el interior del tablero eléctrico de molino CFS, durante el periodo de observación el promedio fue de 41.2°C y el valor máximo alcanzado de 45.5°C.

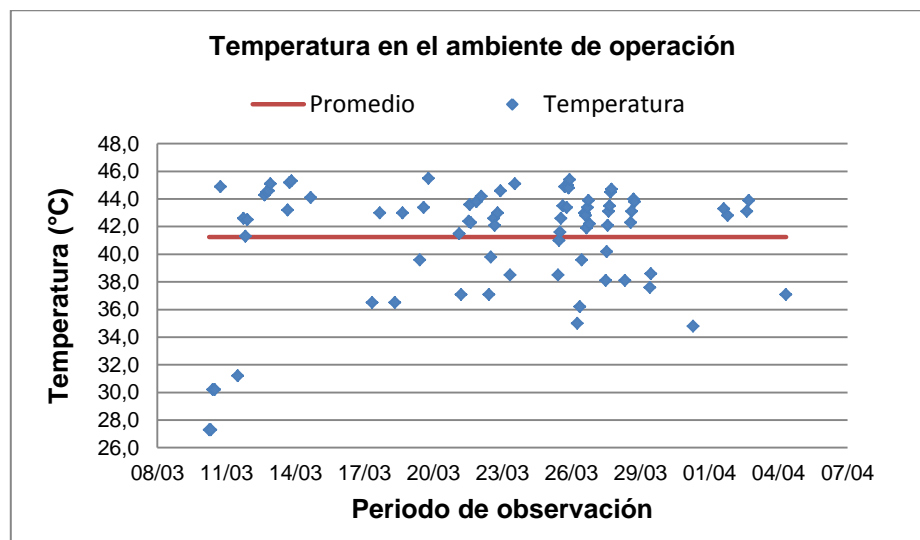


Figura 64. Registro de temperatura del 10 de Marzo al 04 de Abril 2014.

3.4. Evaluación de los resultados.

De acuerdo a los análisis de resultados obtenidos para el arrancador suave y considerando los periodos de observación realizados durante el desarrollo del trabajo se presentan las siguientes observaciones que pueden aportar a diagnosticar la operación inadecuada y los fallos registrados por el arrancador suave.

3.4.1. Tensión de servicio.

De acuerdo con la información registrada se evidencia que los niveles de tensión que se le suministran al arrancador suave SMC FLEX no corresponden a lo establecido en la norma NTC 1340, la cual recomienda una tensión de operación en el rango entre -10% y +5% de la tensión nominal del equipo de transformación. Estos límites son excedidos como se presentan en la Figura 55 y en la Tabla 15.

Comparando con la hoja de fábrica y el manual del arrancador se registra que se exceden los niveles de tensión nominales para la operación óptima de este; Este valor corresponde a 480VAC y como se muestra en la Figura 56, el 37,22% de los datos se encuentran por encima del valor nominal anteriormente mencionado, alcanzando pico máximo de 495,75VAC.

Durante el periodo de arranque, el equipo establece un mínimo en el nivel de tensión de operación de 378,20VAC como se presenta en la Tabla 15.

Basado en lo anterior se concluye que los niveles de tensión no cumplen lo establecido en la norma y se recomienda evaluar las condiciones de operación del equipo en conjunto con el fabricante que suministra el arrancador suave SMC FLEX con el objetivo de establecer rangos de operación que se encuentren dentro de la ficha técnica del equipo.

3.4.2. Corrientes y potencias.

De acuerdo con la información registrada se evidencian niveles elevados de corrientes y potencia reactiva durante los periodos de arranques del motor, estos se presentan cada vez que se enciende para iniciar el proceso de molienda y se cuantifican en un promedio de 38 arranques por día estimando un rango de tiempo en estas condiciones de aproximadamente seis segundos tiempo promedio necesario para pasar de velocidad cero a la nominal. Bajo estas condiciones los tiristores de potencia o SCRs se someten a un proceso diario de desgaste, deterioro que ha sido relacionado y confirmado en los códigos de fallas cuando el equipo se ha dañado.

3.4.3. Desbalances en tensión y corriente.

De acuerdo a la información registrada, no se identifican condiciones anormales de operación.

3.4.4. Frecuencia.

De acuerdo a la información registrada, no se identifican condiciones anormales de operación.

3.4.5. Factor de potencia.

De acuerdo a como lo establece el artículo 25 de la resolución CREG 108 de 1997, se identifica que no se cumple para ninguna de las condiciones de operación un factor de potencia por encima de 0,9 como se ilustra en la Tabla 21. Este factor no incide en la operación del equipo sin embargo afecta la calidad de la energía de la instalación produciendo mayor costo de facturación de energía.

3.4.6. Tiempo de operación y número de arranques del equipo.

De acuerdo a la información registrada, durante el periodo de mediciones se pudo evidenciar que la mayor parte del tiempo el equipo se mantenía detenido y solo operaba por espacios de tiempos cortos en promedio de diez minutos, razón por la cual las horas trabajadas no representan un factor

significativo en la afectación de la vida útil del arrancador suave; pero en lo que respecta al número de arranques, si es una variable muy importante y una de las principales para ser tomada en cuenta como responsable del deterioro de este por las condiciones exigidas y demandas al equipo cada vez que se realiza este proceso. No se tiene un dato de referencia ya que en el catálogo del fabricante u otros documentos relacionados con la marca no aparecen límites para ser comparados con el comportamiento evidenciado en la Figura 63 y la Tabla 22.

3.4.7. Temperatura e operación.

De acuerdo a la información registrada, se evidencia que la temperatura interna en el tablero eléctrico puede llegar a superar el límite sugerido por el fabricante para operación dentro de un envoltorio, cuyo valor corresponde a 40°C y se ilustra en la Figura 52.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

De acuerdo a la metodología planteada para realizar este proyecto y el análisis de los resultados se establecen las siguientes conclusiones:

- Con la descripción realizada del proceso productivo de la empresa Alimentos cárnicos, el molino CFS es un equipo importante y vital para este; todas las actividades encaminadas para garantizar su funcionamiento o mejorarlo deben ser tenidas en cuenta y evaluadas con los criterios de la necesidad y estrategia del área de mantenimiento.
- El arrancador suave SMC FLEX es un equipo moderno y muchas de sus prestaciones de fábricas, como la facilidad de conexión, configuración, protección y mantenimiento han sido evidencias desde la llegada del molino CFS a la empresa. Pero con la información registrada de fallas y condiciones de operación actuales es necesario replantearse si es la mejor opción tecnológica para continuar accionando el motor eléctrico del molino.
- Los costos relacionados únicamente por el cambio del arrancador suave en las tres ocasiones que ha fallado suman un valor aproximado equivalente a quince millones de pesos (\$15.000.000), no se han incluido las pérdidas por los retrasos en la producción. Ver la Tabla 11.
- La tensión de servicio, el número de arranques y la temperatura de operación son los factores que en conjunto ocasionan el deterioro prematuro del arrancador suave. Cuando se seleccionaba este para ser comprado se desconocían los datos reales y relevantes de estas condiciones; por lo tanto el contenido de este proyecto estará disponible para ser consultada por el mismo proveedor de la marca u otro diferente si es necesario al realizarse esta actividad.
- Como condición de comprador el personal de mantenimiento le puede exigir la información que refute las conclusiones de este documento además de trabajar en conjunto para establecer concesos con lo que respecta: a) nivel de tensión máximo y mínimo de operación continua que soporta el equipo; b) la relación entre las potencias motor-arrancador que actualmente se encuentra en 0.72 y c) número de arranques a los que se somete por la condiciones de la producción.

4.2. Recomendaciones.

De acuerdo a la metodología planteada para realizar este proyecto y el análisis de los resultados se establecen las siguientes recomendaciones:

- Evaluar la conveniencia de acuerdo a las capacidades económicas con las cuales dispone la empresa para realizar la inversión inicial y los beneficios obtenidos por proceder con un cambio tecnológico de arrancador suave a variador de velocidad, de los cuales se resaltan:
 - **Reducción del nivel de las corrientes de arranques, los picos energía reactiva y bajo factor de potencia consumidas de la red**, el principio de la electrónica de potencia del variador de velocidad permite obtener con tensiones y corrientes reducidas alto *par* de arranque para vencer la inercia del motor; en cuanto a la energía reactiva la entregaría de su etapa de conversión de potencia. Además esto representa una oportunidad para ahorro de energía y mejora de la eficiencia energética de la planta.
 - **Reducción de elementos electromecánicos de control**, ya que no serían necesarios los dos contactores que actualmente requiere el arrancador suave para realizar la inversión de giro. El costo de estos elementos corresponde a un valor aproximado de cuatro millones de pesos (\$4.000.000) además para su mantenimiento se requieren de dos kits de contactos con un valor aproximado de millón seiscientos mil pesos (\$1.600.000) y entre cuatro (4) a cinco (5) horas de trabajo para realizar la actividad.
 - **Variación de la velocidad de operación** si es requerida por el proceso pero, sin la necesidad de realizar cambio de componentes mecánicos costosos como poleas y correas además de las horas de trabajo necesarias para realizar la actividad.
 - **Reducción de elementos de control**, no sería necesario el relé de velocidad cero con un valor aproximado de novecientos mil pesos (\$900.000) para garantizar que el equipo se encuentre completamente detenido en el arranque o en la inversión de giro; la electrónica de control integrada con el variador permite realizar esta función.
 - **El número de arranques ya no sería una limitante**, al eliminarse los aspectos negativos que conllevan los picos elevados de corrientes en los elementos de control de potencia.

- **Reducción en el nivel de tensión de servicio**, ya que un variador de velocidad no necesitaría para su operación un nivel de tensión tan alto como el que se encuentra en las condiciones actuales, con su reducción se beneficiarían otros equipos conectados al mismo transformador y se le daría cumplimiento a la normativa eléctrica.
- En ocasiones cuando el molino se detenía con la tolva llena de MPC, este no podía ser arrancado sin que antes el operador le evacuara manualmente parte de ese material; el arrancador suave no disponía del *par* necesario para vencer la inercia que requería el motor en esas condiciones. Con el variador esta limitante no sería un problema.
- Se debe evaluar e implementar un sistema de ventilación forzada (extractores con filtros) que complemente al propio del equipo o un sistema de refrigeración (aire acondicionado) adecuado para la aplicación, para garantizar la mínima filtración de polvo y una temperatura al interior del tablero eléctrico inferior a 40°C.
- Finalmente se recomienda utilizar este trabajo como manual complementario al catálogo de fábrica del molino; en él se expone una metodología y establece una guía para abordar otros casos de fallas en las diferentes áreas de la planta. Los beneficios expuestos pueden ser tenidos en cuenta para evaluar la misma conveniencia al ser aplicados a otros equipos con condiciones similares de operación al molino CFS y como un texto para que el personal nuevo de mantenimiento conozca la planta y en general el proceso de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. C. Campos Avella, E. Lora Figueroa, L. Meriño Stand, I. Tovar Ospino, A. Navarro Gomez, E. C. Quispe Oqueña, J. R. Vidal Medina, Y. Lopez castrillón y R. Castrillón Mendoza, «Sistema de información de eficiencia energética y energías alternativas.,» [En línea]. Available: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/motores.pdf>. [Último acceso: 13 Junio 2013].
- [2] «Alimentos Cárnicos,» [En línea]. Available: <http://www.alimentoscarnicos.com.co/index.php/informacion-institucional/nuestra-historia>. [Último acceso: 15 junio 2013].
- [3] C. C. F. Systems, CFS Maxigrind 400HD, 2006.
- [4] Eatonelectric, «Eaton Electric,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.moeller.es%2Fdescarga.php%3Ffile%3Dsoporte%2F12%2FIT-EE09.pdf&ei=TTDsVIIViQAA2mIWCiAQ&usg=AFQjCNEOrLb5xbhtMW6g3C89NUDPQb2qtQ>. [Último acceso: 20 02 2015].
- [5] Kling, Sören, «Library ABB,» Enero 2002. [En línea]. Available: [http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/E7F5BEE372E4BA0BC1256DDD00347076/\\$File/56-63%20M647%20SPA.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/E7F5BEE372E4BA0BC1256DDD00347076/$File/56-63%20M647%20SPA.pdf). [Último acceso: 14 Junio 2013].
- [6] H. Valencia Gallón, «Repositorio Institucional Universidad Pontificia Bolivariana,» 2013. [En línea]. Available: <http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/74/1/Fundamentos%20de%20Electr%C3%B3nica%20Industrial%20-%20Hern%C3%A1n%20Valencia%20Gall%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 15 Noviembre 2014].
- [7] Rockwellautomation, «www.rockwellautomation.com,» Febrero 2013. [En línea]. Available: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/150-br144_-es-p.pdf. [Último acceso: 11 Febrero 2014].
- [8] Rockwellautomation, «Rockwellautomation,» Noviembre 2006. [En línea]. Available:

http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/150-um008_-es-p.pdf. [Último acceso: 17 Septiembre 2014].

- [9] Rockwellautomation, «Roydisa,» Diciembre 2006. [En línea]. Available: <http://www.roydisa.es/wp-content/uploads/2012/12/CATALOGO-SMC.pdf>. [Último acceso: Septiembre 17 2014].
- [10] J. Montaña, «Informe final estudio eléctrico calidad de la potencia y coordinación de protecciones,» Siemens (Colombia), Barranquilla, 2008.
- [11] CREG, «Comisión de Regulación de Energía y Gas,» 28 Mayo 1998. [En línea]. Available: <http://www.creg.gov.co/index.php/es/regulacion/resoluciones>. [Último acceso: 20 Febrero 2015].
- [12] CREG, «Comisión de Regulación de Energia y Gas,» 26 Abril 2005. [En línea]. Available: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2005-CREG024-2005>. [Último acceso: 20 Febrero 2015].
- [13] CREG, «Comisión de Regulación de Energia y Gas,» 26 Febrero 2007. [En línea]. Available: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2007-CREG016-2007>. [Último acceso: 20 Febrero 2015].
- [14] CREG, «Comisión de Regulación de Energia y Gas,» 30 Noviembre 2000. [En línea]. Available: <http://apolo.creg.gov.co/PUBLICAC.NSF/Indice01/Resolución-2000-CREG096-2000?OpenDocument>. [Último acceso: 20 Febrero 2015].
- [15] Incontec, NTC5001-Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación en punto de conexión común, Bogotá: Incontec, 2008.
- [16] Incontec, NTC1340-Electrotecnia. Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energia eléctrica en redes de servicio público, Bogotá: Incontec, 2007.

**CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA
CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE
GRADO**

Barranquilla, 06 de abril del 2015.

Marque con una X

Tesis ☐ Trabajo de Grado ☒

Yo Willis Andrés Rivera Pérez, identificado con C.C. No. 1'129.582.824, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado Evaluación de los factores que afectan al arrancador suave SMC FLEX, ubicado en el molino CFS de la empresa Alimentos Cárnicos sede Barranquilla presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de Ingeniero Eléctrico; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus respectivos anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR–ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad

ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE – AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 06 días del mes de Abril de Dos Mil Quince 2015.

EL AUTOR – ESTUDIANTE._____

FIRMA

FORMULARIO DE LA DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO:

Evaluación de los factores que afectan al arrancador suave SMC FLEX, ubicado en el molino CFS de la empresa Alimentos Cárnicos sede Barranquilla.

SUBTÍTULO, SI LO TIENE:

AUTOR AUTORES

Apellidos Completos	Nombre Completos
Rivera Pérez	Willis Andrés

DIRECTOR (ES)

Apellidos Completos	Nombre Completos
Hernández Herrera	Hernán

JURADO (S)

Apellidos Completos	Nombre Completos
Balbis Morejón	Milen
Ospino Castro	Adalberto

ASESOR (ES) O CODIRECTOR

Apellidos Completos	Nombre Completos
Silva Ortega	Jorge Iván

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Eléctrico.

FACULTAD: Ingeniería.

PROGRAMA: Pregrado X Especialización __

NOMBRE DEL PROGRAMA: Ingeniería Eléctrica.